



TUGAS AKHIR - TM141585

**PERBANDINGAN KEKAKUAN DAN KEKUATAN
CHASSIS DAN *BODY* KENDARAAN YANG TERBUAT
DARI MATERIAL ALUMINIUM DAN *CARBON FIBER*
TERHADAP BEBAN VERTIKAL DAN *TORSIONAL*
*BENDING***

**MOHAMMAD SYIFAUL KHOIRON
NRP 2111 100 001**

**Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Sutikno, ST., MT**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**



TUGAS AKHIR - TM141585

COMPARISON OF STIFFNESS AND STRENGTH FOR VEHICLE CHASSIS AND BODY MADE FROM ALUMINIUM AND CARBON FIBER MATERIAL TOWARD VERTICAL LOAD AND TORSIONAL BENDING

MOHAMMAD SYIFAUL KHOIRON
NRP 2111 100 038

Advisor
Dr. Eng. Sutikno, ST., MT

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

**PERBANDINGAN KEKAKUAN DAN
KEKUATAN *CHASSIS* DAN *BODY* KENDARAAN
YANG TERBUAT DARI MATERIAL
ALUMINIUM DAN *CARBON FIBER* TERHADAP
BEBAN VERTIKAL DAN *TORSIONAL BENDING***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Metalurgi
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Mohammad Syifaul Khoiron

Nrp. 2111 100 038

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.
(NIP. 197407032000031001) (Pembimbing)
2. Alief Wikarta, ST., MSc, Eng, PhD.
(NIP. 198202102006041002) (Penguji 1)
3. Indra Sidharta, ST., M.Sc.
(NIP. 198006192006041004) (Penguji 2)
4. Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc.
(NIP. 196103141987011001) (Penguji 3)

SURABAYA

Januari, 2016

PERBANDINGAN KEKAKUAN DAN KEKUATAN CHASSIS DAN BODY KENDARAAN YANG TERBUAT DARI MATERIAL ALUMINIUM DAN CARBON FIBER TERHADAP BEBAN VERTIKAL DAN TORSIONAL BENDING

Nama Mahasiswa : Mohammad Syifaul Khoiron
NRP : 2111100038
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Sutikno, ST., MT

Abstrak

Perkembangan teknologi dalam dunia otomotif sekarang ini sudah banyak mengalami peningkatan, misalnya yaitu meningkatkan efisiensi kendaraan dengan cara mereduksi beratnya. Seperti halnya Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) yang sedang melakukan riset mengenai mobil listrik yang seringnya mungkin agar efisiensinya meningkat. Peningkatan efisiensi kendaraan dapat ditingkatkan dengan cara mereduksi berat dari kendaraan, misalnya pada chassis dan body kendaraan tersebut. Penggunaan material yang ringan tetapi masih memiliki kekuatan yang baik untuk diaplikasikan pada chassis dan body kendaraan sedang banyak dilakukan penelitian. Penelitian tersebut mengenai penggunaan material komposit dan aluminium sebagai chassis dan body kendaraan. Dengan dilakukan penelitian tersebut diharapkan dapat membantu mengatasi krisis energi dunia global yang sedang terjadi saat ini.

Berawal dari permasalahan tersebut, dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian mengenai penggunaan komposit carbon fiber sandwich dan aluminium sebagai chassis dan body suatu kendaraan. Metode pengujian dalam penelitian ini yaitu menggunakan pengujian simulasi dengan bantuan software finite element. Simulasi dilakukan untuk mengetahui perbandingan kekakuan dan kekuatan dalam menerima beban statis dengan

menggunakan material komposit carbon fiber sandwich dan aluminium sebagai chassis dan body kendaraan.

Berdasarkan hasil simulasi bahwa desain body aluminium EN AW-6060-T4 dengan ketebalan 0,93 sudah mampu menahan beban vertikal dan lateral yang diakibatkan beban kaca dan beban aksesoris body (peredam) dengan nilai tegangan maksimum 34,13 Mpa akibat beban lateral dan deformasi total maksimum 8,7911 mm untuk beban vertikal serta berat yang dihasilkan 45,46 kg, sedangkan pada desain body komposit carbon fiber 2 layer dengan tebal 2 mm lebih aman karena tegangan maksimumnya lebih kecil yaitu 25,613 Mpa untuk beban vertikal dan deformasi total maksimum 7,0728 mm serta berat yang dihasilkan lebih ringan yaitu 39,38 kg. Desain chassis aluminium EN AW-6082-T6 dengan ketebalan 2 mm sudah mampu menahan beban vertikal dan lateral yang dikarenakan beban body, motor, baterai, drivetrain, pengemudi, penumpang dan juga akibat gaya gravitasi sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$ dengan tegangan maksimum 109,87 Mpa akibat beban lateral dan deformasi total maksimal 2,6836 mm akibat beban vertikal serta berat yang dihasilkan 38,194 kg dengan nilai torsional stiffnessnya 23717,89 Nm/deg. Sedangkan pada desain chassis komposit carbon fiber sandwich 5 layer dengan tebal 14 mm lebih aman dalam menerima beban vertikal tetapi lebih lemah dalam menerima beban lateral dengan nilai tegangan maksimum 93,858 Mpa untuk beban lateral dan deformasi maksimum 6,2078 mm serta berat yang dihasilkan 35,117 kg, nilai kekakuannya lebih baik dari pada chassis aluminium dengan nilai torsioanal stiffnessnya 50877,61 Nm/deg.

Kata Kunci : Chassis, Body, Carbon Fiber, Aluminium, Kekakuan, Kekuatan, Berat.

COMPARISON OF STIFFNESS AND STRENGTH FOR VEHICLE CHASSIS AND BODY MADE FROM ALUMINIUM AND CARBON FIBER MATERIAL TOWARD VERTICAL LOAD AND TORSIONAL BENDING

Student Name : Mohammad Syifaul Khoiron
NRP : 2111100038
Departement : Teknik Mesin
Advisor : Dr. Eng. Sutikno, ST., MT

Abstract

Technological developments in the automotive world today are much increased, for example, which is to increase efficiency by reducing vehicle weight. As well as Institute of Technology Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) which is conducting research about electric car as light as possible in order to increase its efficiency. Increased vehicle efficiency can be improved by reducing the weight of the vehicle, for example on the chassis and the vehicle body. The use of lightweight material, but still has good strength to be applied on the chassis and the vehicle body and being a lot of research. The study on the use of composite materials and aluminum as the chassis and the vehicle body. With the research is expected to help overcome the global energy crisis the world is happening at the moment.

Starting from these problems, in this study will be tested on the use of composite carbon fiber and aluminum sandwich as a vehicle chassis and body. Testing method in this research is using simulation tests with the aid of finite element software. Simulations carried out to compare the stiffness and strength to accept a static load using a composite material of carbon fiber and aluminum sandwich as the chassis and the vehicle body.

Based on the simulation results that the body design of aluminum EN AW-6060-T4 with a thickness of 0.93 has been able to withstand vertical and lateral loads resulting glass loads and

loads of accessories body (reducer) with a value of 34.13 MPa maximum stress due to lateral loads and total deformations 8.7911 mm to a maximum vertical load and the resulting weight 45.46 kg, while the carbon fiber composite body design 2 layer with a thickness of 2 mm is more secure because the maximum stress is smaller at 25.613 Mpa for vertical loads and total deformation maximum 7.0728 mm and weight of the resulting lighter is 39.38 kg. Aluminum chassis design EN AW-6082-T6 with a thickness of 2 mm has been able to withstand vertical and lateral loads due to body load, the motor, battery, drivetrain, driver, passenger, and also due to gravity of 9.81 m/s^2 with a maximum stress of 109.87 MPa due to lateral load and total maximum deformation 2.6836 mm due to vertical load and resulting weight 38.194 kg with a value of torsional stiffness 23717.89 Nm/deg. While the chassis design of composite carbon fiber sandwich layer 5 with a thickness of 14 mm is more secure in receiving the vertical load but weaker in accepting lateral load with maximum stress 93.858 MPa for lateral loads and maximum deformation 6.2078 mm with resulting weight of 35.117 kg, stiffness value better than an aluminum chassis with a value torsioanal stiffness 50877.61 Nm / deg.

Keywords: Chassis, Body, Carbon Fiber, Aluminium, Strength, Stiffness, Weight.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penyusunan laporan tugas akhir yang berjudul **“PERBANDINGAN KEKAKUAN DAN KEKUATAN CHASSIS DAN BODY KENDARAAN YANG TERBUAT DARI MATERIAL ALUMINIUM DAN CARBON FIBER TERHADAP BEBAN VERTIKAL DAN TORSIONAL BENDING** “ ini dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Banyak pihak yang telah membantu sampai selesainya tugas akhir ini. Oleh karena itu pada kesempatan ini disampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis Bapak dan Ibu serta kakak untuk segala doa, restu, pengorbanan, dan motivasi yang tidak pernah bosan dan habis kepada penulis.
2. **Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.** selaku dosen pembimbing tugas akhir ini. Terima kasih untuk semua waktu, kritik, saran, dan motivasi yang diberikan ditengah – tengah kesibukan bapak, tanpa itu semua sampai sekarang penulis tidak akan dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. **Alief Wikarta, ST., MSc.Eng, PhD. , Indra Sidharta, ST., M.Sc.** dan **Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc.** selaku dosen penguji tugas akhir. Terimakasih atas nasehat-nasehatnya.
4. **Mas Yuli, Syafa’at, Iqbal** dan segenap **Laskar Labkom** yang telah menjadi keluarga ke-2 bagi penulis selama kuliah di Teknik Mesin ITS.
5. **Deny, Afrizal, Imam, dan Shidqon** selaku teman kontrakan yang telah memberikan semangat, motivasi, cerita dan pinjaman kamar untuk bisa menyelesaikan tugas akhir dan lulus bersama.

6. Seluruh keluarga besar **M54, Lab Metalurgi** dan teman-teman di mesin atas kebahagiaan dan dukungannya.
7. Bapak dan Ibu dosen serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang telah banyak membantu selama perkuliahan.
8. Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih atas bantuan, saran, doa, dan semangatnya.

Penulis sadar bahwa penulisan tugas akhir ini memiliki banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan dan kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis dan pembaca. Terima kasih.

Surabaya, 17 Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------|
| HALAMAN JUDUL (Versi Bahasa Indonesia) | |
| HALAMAN JUDUL (Versi Bahasa Inggris) | |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| ABSTRAK | iv |
| ABSTRACT | vi |
| KATA PENGANTAR | viii |
| DAFTAR ISI | x |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| DAFTAR TABEL | xxiii |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI | |
| 2.1 Tinjauan Pustaka | 5 |
| 2.2 <i>Chassis</i> Mobil..... | 17 |
| 2.2.1 Ladder Frame | 17 |
| 2.2.2 Tubular Space Frame..... | 19 |
| 2.2.3 Monocoque..... | 19 |
| 2.2.4 Backbone..... | 20 |
| 2.3 Bentuk <i>Chassis</i> | 21 |
| 2.3.1 Besi <i>Hollow</i> | 21 |
| 2.3.2 Besi CNP (Kanal C) | 21 |
| 2.4 Properti Material <i>Chassis</i> dan <i>Body</i> | 22 |
| 2.5 Aluminium..... | 22 |
| 2.6 Komposit | 24 |
| 2.7 Matriks | 25 |
| 2.8 Penguat (<i>Reinforcement</i>) | 26 |
| 2.8.1 <i>Fiber Reinforced Composite</i> | 26 |
| 2.8.2 <i>Composite Struktural</i> | 28 |
| 2.8.3 <i>Carbon Fiber</i> | 30 |

| | |
|---|----|
| 2.9 Material Inti (<i>Core</i>) | 32 |
| 2.9.1 <i>Honeycomb Core</i> | 32 |
| 2.10 Pengujian Material Komposit dengan <i>Three Point Bending</i> | 33 |
| 2.11 Tegangan dan Deformasi Yang Diizinkan Pada Chassis Kendaraan | 36 |
| 2.12 Pembebanan Pada Mobil | 37 |
| 2.12.1 Pembebanan Global..... | 37 |
| 2.12.2 Pembebanan Lokal | 43 |
| 2.13 <i>Torsional Stiffness</i> Mobil..... | 43 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian..... | 45 |
| 3.2 Diagram Alir Simulasi <i>Chassis</i> dan <i>Body</i> Mobil Listrik ... | 46 |
| 3.2.1 Menggunakan Material Aluminium | 46 |
| 3.2.2 Menggunakan Material <i>Carbon Fiber Sandwich</i> | 47 |
| 3.3 Studi Literatur | 48 |
| 3.4 Desain Mobil Listrik | 48 |
| 3.5 Material Mobil Listrik..... | 51 |
| 3.6 Simulasi Model Geometry dan Ketebalan <i>Sandwich Panels</i> | 53 |
| 3.6.1 Simulasi Penentuan Bentuk Model Geometri <i>Chassis</i> | 53 |
| 3.6.2 Simulasi Arah dan Ketebalan <i>Sandwich Panels & Laminate</i> | 55 |
| 3.7 Perhitungan Pembebanan | 56 |
| 3.7.1 Beban Vertikal | 56 |
| 3.7.2 Beban Lateral | 58 |
| 3.7.3 Beban Torsional..... | 59 |
| 3.8 Simulasi <i>Chassis</i> dan <i>Body</i> Mobil Listrik | 61 |
| 3.9 Analisa Data | 64 |
| BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN | |
| 4.1 Data Spesifikasi <i>Body</i> dan <i>Chassis</i> Kendaraan | 67 |
| 4.2 Analisa Gambar Hasil Simulasi <i>Vertikal Bending</i> | 75 |
| 4.2.1 Analisa Gambar Tegangan <i>Von-Mises</i> | 75 |
| 4.2.1.1 <i>Body</i> Aluminium EN AW-6060-T4 Kendaraan. | 75 |

| | |
|--|----|
| 4.2.1.2 <i>Body</i> Komposit <i>Carbon Fiber</i> Kendaraan | 76 |
| 4.2.1.3 <i>Chassis</i> Aluminium EN AW-6082-T6 Kendaraan | 77 |
| 4.2.1.4 <i>Chassis</i> Komposit <i>Carbon Fiber Sandwich</i> Kendaraan | 79 |
| 4.2.2 Analisa Gambar Deformasi Total | 80 |
| 4.2.2.1 <i>Body</i> Aluminium EN AW-6060-T4 Kendaraan. | 80 |
| 4.2.2.2 <i>Body</i> Komposit <i>Carbon Fiber</i> Kendaraan | 81 |
| 4.2.2.3 <i>Chassis</i> Aluminium EN AW-6082-T6 Kendaraan | 82 |
| 4.2.2.4 <i>Chassis</i> Komposit <i>Carbon Fiber Sandwich</i> Kendaraan | 83 |
| 4.3 Analisa Gambar Hasil Simulasi <i>Lateral Bending</i> | 85 |
| 4.3.1 Analisa Gambar Tegangan <i>Von-Mises</i> | 85 |
| 4.3.1.1 <i>Body</i> Aluminium EN AW-6060-T4 Kendaraan. | 85 |
| 4.3.1.2 <i>Body</i> Komposit <i>Carbon Fiber</i> Kendaraan | 86 |
| 4.3.1.3 <i>Chassis</i> Aluminium EN AW-6082-T6 Kendaraan | 87 |
| 4.3.1.4 <i>Chassis</i> Komposit <i>Carbon Fiber Sandwich</i> Kendaraan | 89 |
| 4.3.2 Analisa Gambar Deformasi Total | 90 |
| 4.3.2.1 <i>Body</i> Aluminium EN AW-6060-T4 Kendaraan. | 90 |
| 4.3.2.2 <i>Body</i> Komposit <i>Carbon Fiber</i> Kendaraan | 91 |
| 4.3.2.3 <i>Chassis</i> Aluminium EN AW-6082-T6 Kendaraan | 92 |
| 4.3.2.4 <i>Chassis</i> Komposit <i>Carbon Fiber Sandwich</i> Kendaraan | 93 |
| 4.4 Analisa Gambar Hasil Simulasi <i>Torsional Bending</i> | |
| 4.4.1 Analisa Gambar Hasil Simulasi <i>Torsional Bending</i> Depan | 94 |
| 4.4.1.1 Analisa Gambar Tegangan <i>Von-Mises</i> | 94 |
| 4.4.1.1.1 <i>Chassis</i> Aluminium EN AW-6082-T6 Kendaraan..... | 94 |
| 4.4.1.1.2 <i>Chassis</i> Komposit <i>Carbon Fiber Sandwich</i> Kendaraan..... | 95 |

| | |
|--|-----|
| 4.4.1.2 Analisa Gambar Deformasi Arah Vertikal..... | 97 |
| 4.4.1.2.1 <i>Chassis</i> Aluminium EN AW-6082-T6 Kendaraan..... | 97 |
| 4.4.1.2.2 <i>Chassis</i> Komposit <i>Carbon Fiber Sandwich</i> Kendaraan..... | 98 |
| 4.4.2 Analisa Gambar Hasil Simulasi <i>Torsional Bending</i> Belakang..... | 99 |
| 4.4.2.1 Analisa Gambar Tegangan <i>Von-Mises</i> | 99 |
| 4.4.2.1.1 <i>Chassis</i> Aluminium EN AW-6082-T6 Kendaraan..... | 99 |
| 4.4.2.1.2 <i>Chassis</i> Komposit <i>Carbon Fiber Sandwich</i> Kendaraan..... | 100 |
| 4.4.2.2 Analisa Gambar Deformasi Arah Vertikal..... | 102 |
| 4.4.2.2.1 <i>Chassis</i> Aluminium EN AW-6082-T6 Kendaraan..... | 102 |
| 4.4.2.2.2 <i>Chassis</i> Komposit <i>Carbon Fiber Sandwich</i> Kendaraan..... | 103 |
| 4.4.3 Analisa Gambar Hasil Simulasi <i>Torsional Bending</i> Depan dan Belakang | 104 |
| 4.4.3.1 Analisa Gambar Tegangan <i>Von-Mises</i> | 104 |
| 4.4.3.1.1 <i>Chassis</i> Aluminium EN AW-6082-T6 Kendaraan..... | 104 |
| 4.4.3.1.2 <i>Chassis</i> Komposit <i>Carbon Fiber Sandwich</i> Kendaraan..... | 105 |
| 4.4.3.2 Analisa Gambar Deformasi Arah Vertikal..... | 106 |
| 4.4.3.2.1 <i>Chassis</i> Aluminium EN AW-6082-T6 Kendaraan..... | 106 |
| 4.4.3.2.2 <i>Chassis</i> Komposit <i>Carbon Fiber Sandwich</i> Kendaraan..... | 107 |
| 4.5 Analisa Kriteria Aman Pada Material Komposit..... | 108 |
| 4.6 Analisa Grafik | 110 |
| 4.6.1 Analisa Berat <i>Body</i> dan <i>Chassis</i> Kendaraan..... | 110 |
| 4.6.2 Analisa Data Hasil Simulasi <i>Vertikal Bending</i> | 111 |
| 4.6.3 Analisa Data Hasil Simulasi <i>Lateral Bending</i> | 113 |
| 4.6.3 Analisa Data Hasil Simulasi <i>Torsional Bending</i> | 115 |

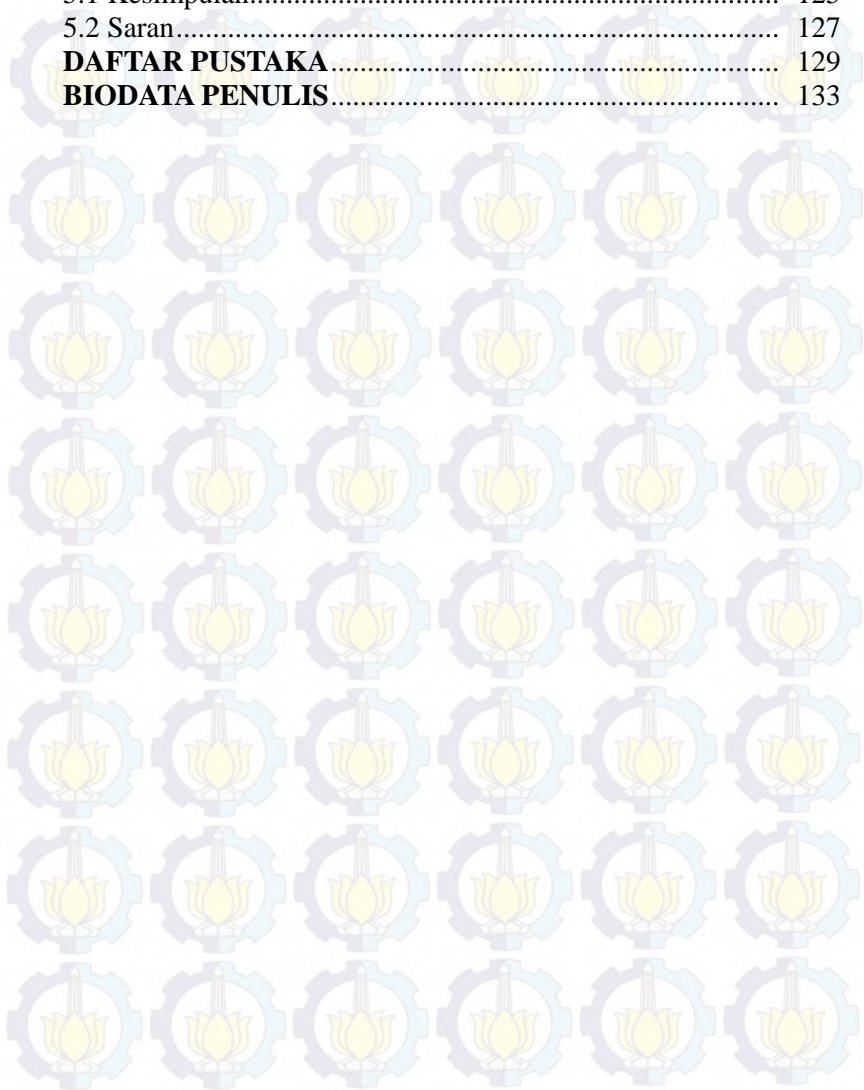
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan..... 125

5.2 Saran..... 127

DAFTAR PUSTAKA..... 129

BIODATA PENULIS..... 133



DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Deformasi Total (a) steel (b) komposit <i>carbon fiber</i> | 6 |
| Gambar 2.2 Distribusi Tegangan (a) steel (b) komposit <i>Carbon Fiber</i> | 6 |
| Gambar 2.3 Distribusi Regangan (a) steel (b) komposit <i>Carbon Fiber</i> | 6 |
| Gambar 2.4 Produk aluminium untuk aplikasi komponen otomotif | 8 |
| Gambar 2.5 Aluminium <i>extrusion</i> pada mobil AUDI space-frame (AUDI A8 series) | 9 |
| Gambar 2.6 <i>Final SLC-body “multi-material” concept (SLC project)</i> | 10 |
| Gambar 2.7 <i>Chalmers Formula Student Hybrid Chassis</i> | 11 |
| Gambar 2.8 <i>Equivalent Stress</i> pada saat pengereman maksimal | 11 |
| Gambar 2.9 <i>Torsional Stiffness Simulation Setup</i> | 12 |
| Gambar 2.10 Garfik <i>Torsional stiffness</i> vs tebal <i>core</i> dan jumlah layer | 12 |
| Gambar 2.11 Grafik Berat <i>monocoque chassis</i> vs tebal <i>core</i> dan jumlah layer | 13 |
| Gambar 2.12 Grafik <i>Torsional stiffness</i> /berat vs tebal <i>core</i> dan jumlah layer | 13 |
| Gambar 2.13 <i>Relative materials properties & costs</i> | 14 |
| Gambar 2.14 <i>Anatomy of Hypercar, Inc.’s Revolution Concept Vehicle</i> | 15 |
| Gambar 2.15 <i>Composite structure, aluminum/composite front sub-frame, and exterior panels</i> | 15 |
| Gambar 2.16 Gambar susunan Composite safety cell | 16 |
| Gambar 2.17 <i>Ladder Frame</i> | 18 |
| Gambar 2.18 <i>Ladder frame</i> dengan palang X | 18 |
| Gambar 2.19 <i>Tubular Space Frame</i> | 19 |
| Gambar 2.20 <i>Monocoque</i> | 20 |
| Gambar 2.21 <i>Backbone chassis</i> | 20 |

| | |
|--|----|
| Gambar 2.22 <i>Chassis</i> mobil Mercedes tahun 1901 | 21 |
| Gambar 2.23 <i>Chassis</i> dari truk <i>heavy duty</i> | 22 |
| Gambar 2.24 Penggunaan Aluminium alloy pada pesawat komersial | 24 |
| Gambar 2.25 Komponen pada mesin pesawat yang terbuat dari komposit | 25 |
| Gambar 2.26 Klasifikasi matriks | 26 |
| Gambar 2.27 Klasifikasi komposit | 26 |
| Gambar 2.28 <i>Continuous and aligned</i> (a), <i>discontinuous and</i> <i>aligned</i> (b) dan <i>discontinuous randomly oriented</i> <i>fiber reinforced composites</i> | 27 |
| Gambar 2.29 <i>Woven fiber triaxial dan biaxial</i> | 28 |
| Gambar 2.30 <i>Lamina</i> (kiri) dan <i>Laminate</i> (kanan) | 29 |
| Gambar 2.31 <i>Laminate Unidirectional</i> (kiri) dan <i>Crossplied quasi</i> - <i>isotropic</i> (kanan) | 29 |
| Gambar 2.32 <i>Konstruksi Composite Sandwich</i> | 30 |
| Gambar 2.33 Perbandingan ukuran serat karbon 6 μ m (hitam) dengan rambut manusia (abu-abu) | 30 |
| Gambar 2.34 Klasifikasi arsitektur pada <i>Carbon Fiber</i> | 31 |
| Gambar 2.35 <i>Twill Weave</i> | 32 |
| Gambar 2.36 Aluminium <i>Honeycomb</i> | 33 |
| Gambar 2.37 Properti Alumunium <i>Honeycomb</i> | 33 |
| Gambar 2.38 Pembebanan Pada Uji <i>Three Point Bending</i> | 34 |
| Gambar 2.39 Macam mode kegagalan uji bending struktur komposit <i>Sandwich</i> | 36 |
| Gambar 2.40 Kompensasi <i>bending deflection</i> menurut ASME Y14.32.1 M | 37 |
| Gambar 2.41 Reaksi chassis ketika beban <i>torsi</i> diberikan | 38 |
| Gambar 2.42 <i>Torsional stiffness theoretical model</i> | 38 |
| Gambar 2.43 Penampakan <i>chassis</i> akibat akselerasi yang besar | 39 |
| Gambar 2.44 Distribusi beban vertikal tampak samping | 39 |
| Gambar 2.45 Lateral bending yang terjadi pada chassis saat meewati jalan menikung | 40 |
| Gambar 2.46 Distribusi beban lateral tampak atas | 41 |

| | |
|---|----|
| Gambar 2.47 Horizontal <i>Lozening</i> | 43 |
| Gambar 3.1 Skema diagram alir penelitian | 45 |
| Gambar 3.2 Skema diagram alir simulasi chassis dan body mobil listrik menggunakan material aluminium | 46 |
| Gambar 3.3 Skema diagram alir simulasi chassis dan body mobil listrik menggunakan material <i>Carbon Fiber</i> | 47 |
| Gambar 3.4 Dimensi lebar mobil listrik | 49 |
| Gambar 3.5 Dimensi panjang dan tinggi mobil listrik | 49 |
| Gambar 3.6 Dimensi lebar dan tinggi chassis mobil listrik | 49 |
| Gambar 3.7 Dimensi panjang chassis mobil listrik | 50 |
| Gambar 3.8 Tampak isometrik chassis mobil listrik | 50 |
| Gambar 3.9 Gambar utuh mobil listrik dan komponennya | 50 |
| Gambar 3.10 Profil chassis ketika menerima <i>vertikal bending</i> (a) <i>Rectangular</i> (b) <i>Square</i> (c) <i>U-Channel</i> | 54 |
| Gambar 3.11 Profil <i>chassis rectangular tube</i> kendaraan | 55 |
| Gambar 3.12 Contoh model susunan arah dan ketebalan dengan 5 lamina dalam 1 <i>stackup</i> pada desain <i>body</i> kendaraan material komposit | 55 |
| Gambar 3.13 Contoh model susunan arah dan ketebalan dengan 4 lamina & 1 <i>core</i> dalam 1 <i>stackup</i> pada desain <i>chassis</i> kendaraan material komposit | 56 |
| Gambar 3.14 Distribusi beban vertikal pada <i>body</i> | 57 |
| Gambar 3.15 Distribusi beban vertikal pada <i>chassis</i> | 57 |
| Gambar 3.16 Distribusi beban lateral pada <i>body</i> | 59 |
| Gambar 3.17 Distribusi beban lateral pada <i>chassis</i> | 59 |
| Gambar 3.18 Distribusi beban torsional depan pada <i>chassis</i> | 60 |
| Gambar 3.19 Distribusi beban torsional belakang pada <i>chassis</i> | 60 |
| Gambar 3.20 Distribusi beban torsional depan dan belakang pada <i>chassis</i> | 61 |
| Gambar 3.21 <i>Meshing</i> pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Mobil Listrik .. | 63 |
| Gambar 3.22 <i>Layout</i> pada <i>body surface</i> | 63 |
| Gambar 3.23 <i>Layout</i> pada <i>chassis</i> | 63 |
| Gambar 3.24 Skema simulasi <i>static structural</i> untuk Aluminium | 64 |

| | |
|--|----|
| Gambar 3.25 Skema simulasi <i>ACP static structural</i> untuk Komposit | 64 |
| Gambar 4.1 Hasil simulasi tegangan pada body aluminium akibat vetikal bending, (a) Tegangan <i>Von-Mises</i> , (b) Detail Tegangan <i>Von-Mises</i> , (c) <i>Safety Factor</i> | 75 |
| Gambar 4.2 Hasil simulasi tegangan pada body komposit <i>Carbon Fiber</i> akibat vetikal bending, (a) Tegangan <i>Von-Mises</i> , (b) Detail Tegangan <i>Von-Mises</i> | 76 |
| Gambar 4.3 Hasil simulasi tegangan pada chassis aluminium akibat vetikal bending, (a) Tegangan <i>Von-Mises</i> , (b) <i>Safety Factor</i> , (c) Detail Tegangan <i>Von-Mises</i> | 77 |
| Gambar 4.4 Hasil simulasi tegangan pada chassis komposit <i>Carbon Fiber Sandwich</i> akibat vetikal bending, (a) Tegangan <i>Von-Mises</i> , (b) Detail Tegangan <i>Von-Mises</i> | 79 |
| Gambar 4.5 Hasil simulasi deformasi total pada body aluminium EN AW-6060-T4 akibat vetikal bending | 80 |
| Gambar 4.6 Hasil simulasi deformasi total pada body Komposit <i>Carbon Fiber</i> akibat vetikal bending | 81 |
| Gambar 4.7 Hasil simulasi deformasi pada chassis aluminium EN AW-6082-T6 akibat vetikal bending, (a) Deformasi total, (b) Detail deformasi total | 82 |
| Gambar 4.8 Hasil simulasi deformasi pada chassis <i>Carbon Fiber Sandwich</i> akibat vetikal bending, (a) Deformasi total, (b) Detail deformasi total | 84 |
| Gambar 4.9 Hasil simulasi tegangan pada body aluminium akibat lateral bending, (a) Tegangan <i>Von-Mises</i> , (b) Detail Tegangan <i>Von-Mises</i> , (c) <i>Safety Factor</i> | 85 |
| Gambar 4.10 Hasil simulasi tegangan pada body komposit <i>Carbon Fiber</i> akibat lateral bending, (a) Tegangan <i>Von-Mises</i> , (b) Detail Tegangan <i>Von-Mises</i> | 86 |
| Gambar 4.11 Hasil simulasi tegangan pada chassis aluminium akibat lateral bending, (a)Tegangan <i>Von-Mises</i> , (b)Detail Tegangan <i>Von-Mises</i> | 88 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.12 Hasil simulasi tegangan pada chassis komposit <i>Carbon Fiber Sandwich</i> akibat lateral bending, (a) Tegangan <i>Von-Mises</i> , (b) Detail Tegangan <i>Von-Mises</i> | 89 |
| Gambar 4.13 Hasil simulasi deformasi arah horizontal pada body aluminium EN AW-6060-T4 akibat lateral bending | 90 |
| Gambar 4.14 Hasil simulasi deformasi arah horizontal pada body Komposit <i>Carbon Fiber</i> akibat lateral bending . | 91 |
| Gambar 4.15 Hasil simulasi deformasi pada chassis aluminium EN AW-6082-T6 akibat lateral bending, (a) Deformasi horizontal, (b) Detail deformasi horizontal | 92 |
| Gambar 4.16 Hasil simulasi deformasi pada chassis <i>Carbon Fiber Sandwich</i> akibat lateral bending, (a) Deformasi horizontal, (b) Detail deformasi horizontal | 93 |
| Gambar 4.17 Hasil simulasi tegangan pada chassis aluminium akibat torsional bending depan, (a) Tegangan <i>Von-Mises</i> , (b) <i>Safety Factor</i> , (c) Detail Tegangan <i>Von-Mises</i> | 94 |
| Gambar 4.18 Hasil simulasi tegangan pada chassis komposit <i>Carbon Fiber Sandwich</i> akibat torsional bending depan, (a) Tegangan <i>Von-Mises</i> , (b) Detail Tegangan <i>Von-Mises</i> | 96 |
| Gambar 4.19 Hasil simulasi deformasi arah vertikal pada chassis aluminium EN AW-6082-T6 akibat torsional bending depan | 97 |
| Gambar 4.20 Hasil simulasi deformasi arah vertikal pada chassis <i>Carbon Fiber Sandwich</i> akibat torsional bending depan | 98 |
| Gambar 4.21 Hasil simulasi tegangan pada chassis aluminium akibat torsional bending belakang, (a)Tegangan <i>Von-Mises</i> , (b) <i>Safety Factor</i> , (c)Detail Tegangan <i>Von-Mises</i> | 99 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 4.22 Hasil simulasi tegangan pada chassis komposit <i>Carbon Fiber Sandwich</i> akibat torsional bending belakang, (a) Tegangan <i>Von-Mises</i> , (b) Detail Tegangan <i>Von-Mises</i> | 100 |
| Gambar 4.23 Hasil simulasi deformasi arah vertikal pada chassis aluminium EN AW-6082-T6 akibat torsional bending belakang | 102 |
| Gambar 4.24 Hasil simulasi deformasi pada chassis <i>Carbon Fiber Sandwich</i> akibat torsional bending belakang, (a) Deformasi vertikal, (b) Detail deformasi vertikal | 103 |
| Gambar 4.25 Hasil simulasi tegangan pada chassis aluminium akibat torsional bending depan dan belakang, (a) Tegangan <i>Von-Mises</i> , (b) Detail Tegangan <i>Von-Mises</i> | 104 |
| Gambar 4.26 Hasil simulasi tegangan pada chassis komposit <i>Carbon Fiber Sandwich</i> akibat torsional bending depan dan belakang, (a) Tegangan <i>Von-Mises</i> , (b) Detail Tegangan <i>Von-Mises</i> | 105 |
| Gambar 4.27 Hasil simulasi deformasi arah vertikal pada chassis aluminium EN AW-6082-T6 akibat torsional bending depan dan belakang | 106 |
| Gambar 4.28 Hasil simulasi deformasi pada chassis <i>Carbon Fiber Sandwich</i> akibat torsional bending depan dan belakang, (a) Deformasi vertikal, (b) Detail deformasi vertikal | 107 |
| Gambar 4.29 Hasil simulasi <i>shear stress</i> pada material <i>Carbon Fiber Sandwich</i> akibat vertikal bending, (a) <i>Chassis</i> , (b) <i>Body</i> | 108 |
| Gambar 4.30 Hasil simulasi <i>Tsai-Hill failure criteria</i> pada material <i>Carbon Fiber Sandwich</i> akibat vertikal bending, (a) <i>Chassis</i> , (b) <i>Body</i> | 109 |
| Gambar 4.31 Grafik perbandingan berat body dan chassis kendaraan yang terbuat dari material EN | |

| | | |
|-------------|--|-----|
| | AW-6060-T4/EN AW-6082-T6 dan <i>Carbon Fiber Sandwich</i> | 110 |
| Gambar 4.32 | Grafik perbandingan simulasi vertikal bending pada body kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6060-T4 dan <i>Carbon Fiber Sandwich</i> | 111 |
| Gambar 4.33 | Grafik perbandingan simulasi vertikal bending pada chassis kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6082-T6 dan <i>Carbon Fiber Sandwich</i> | 112 |
| Gambar 4.34 | Grafik perbandingan simulasi lateral bending pada body kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6060-T4 dan <i>Carbon Fiber</i> | 113 |
| Gambar 4.35 | Grafik perbandingan simulasi lateral bending pada chassis kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6082-T6 dan <i>Carbon Fiber Sandwich</i> | 114 |
| Gambar 4.36 | Grafik perbandingan simulasi torsional bending depan pada chassis kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6082-T6 dan <i>Carbon Fiber Sandwich</i> | 115 |
| Gambar 4.37 | Grafik perbandingan simulasi torsional bending belakang pada chassis kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6082-T6 dan <i>Carbon Fiber Sandwich</i> | 116 |
| Gambar 4.38 | Grafik perbandingan simulasi torsional bending depan dan belakang pada chassis kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6082-T6 dan <i>Carbon Fiber Sandwich</i> | 117 |
| Gambar 4.39 | Grafik perbandingan torsi pada pembebanan depan chassis kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6082-T6 dan <i>Carbon Fiber Sandwich</i> dengan sudut puntir | 119 |
| Gambar 4.40 | Grafik perbandingan torsi pada pembebanan belakang chassis kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6082-T6 dan <i>Carbon Fiber Sandwich</i> dengan sudut puntir | 120 |

Gambar 4.41 Grafik perbandingan torsi pada pembebanan depan dan belakang chassis kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6082-T6 dan *Carbon Fiber Sandwich* dengan sudut puntir 121

Gambar 4.42 Grafik perbandingan torsional stiffness pada pembebanan depan, pembebanan belakang, pembebanan depan dan belakang terhadap chassis kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6082-T6 dan *Carbon Fiber Sandwich* 122

Gambar 4.43 Grafik perbandingan torsional stiffness/berat chassis pada pembebanan depan, pembebanan belakang, pembebanan depan dan belakang terhadap chassis kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6082-T6 dan *Carbon Fiber Sandwich* 123

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Properti material | 5 |
| Tabel 2.2 Hasil analisa modal pada material komposit <i>carbon fiber</i> dan <i>steel</i> | 7 |
| Tabel 2.3 Hasil analisa <i>Static Structural</i> pada material komposit carbon fiber dan steel | 7 |
| Tabel 2.4 Perbandingan berat dari <i>Revolution</i> dan <i>benchmark</i> <i>vehicle</i> | 16 |
| Tabel 2.5 Material properties carbon steel, alloy steel, aluminium alloy dan carbon fiber | 22 |
| Tabel 2.6 Hasil pengujian kekakuan <i>chassis</i> beberapa jenis mobil | 43 |
| Tabel 3.1 Properti Aluminium Alloy EN AW-6060-T4 | 51 |
| Tabel 3.2 Properti Aluminium Alloy EN AW-6082-T6 | 51 |
| Tabel 3.3 Properti <i>epoxy carbon woven prepreg</i> | 52 |
| Tabel 3.4 Properti aluminium honeycomb 10 mm dan 20 mm | 52 |
| Tabel 3.5 Properti <i>lansororic XF</i> | 53 |
| Tabel 3.6 Properti <i>polycarbonate</i> | 53 |
| Tabel 3.7 Hasil simulasi model profil <i>chassis</i> | 54 |
| Tabel 3.8 Pembebanan vertikal pada <i>body</i> | 56 |
| Tabel 3.9 Pembebanan vertikal pada <i>chassis</i> | 56 |
| Tabel 3.10 Pembebanan akibat belok pada <i>body</i> | 58 |
| Tabel 3.11 Pembebanan akibat belok pada <i>chassis</i> | 58 |
| Tabel 3.12 Pembebanan pada uji <i>torsional bending</i> | 60 |
| Tabel 3.13 <i>Boundary condition</i> dan loading condition pada desain body dan chassis Mobil Listrik | 61 |
| Tabel 4.1 Rincian Berat <i>Body</i> Aluminium Kendaraan Dengan Variasi Ketebalan | 67 |
| Tabel 4.2 Rincian Berat <i>Body</i> Komposit Sandwich Kendaraan Dengan Variasi Jumlah Layer dan Ketebalan | 67 |
| Tabel 4.3 Rincian Berat <i>Chassis</i> Aluminium Kendaraan Dengan Variasi Temper Material | 67 |

| | |
|---|----|
| Tabel 4.4 Rincian Berat <i>Chassis</i> Komposit Sandwich Kendaraan Dengan Variasi Jumlah Layer | 68 |
| Tabel 4.5 Berat Total Desain <i>Body</i> Aluminium Kendaraan | 68 |
| Tabel 4.6 Berat Total Desain <i>Body</i> Komposit Sandwich Kendaraan | 69 |
| Tabel 4.7 Berat Total Desain <i>Chassis</i> Aluminium Kendaraan... | 69 |
| Tabel 4.8 Berat Total Desain <i>Chassis</i> Komposit Sandwich Kendaraan | 69 |
| Tabel 4.9 Berat Total Desain <i>Body</i> dan <i>Chassis</i> Aluminium Kendaraan | 69 |
| Tabel 4.10 Berat Total Desain <i>Body</i> dan <i>Chassis</i> Komposit <i>Sandwich</i> Kendaraan | 69 |
| Tabel 4.11 Nilai Tegangan <i>Von-Misses</i> Maksimal dan Deformasi Maksimal Pada <i>Body</i> untuk <i>Vertikal</i> <i>Bending</i> | 70 |
| Tabel 4.12 Nilai Tegangan <i>Von-Misses</i> Maksimal dan Deformasi Maksimal Pada <i>Chassis</i> untuk <i>Vertikal</i> <i>Bending</i> | 70 |
| Tabel 4.13 Nilai Tegangan <i>Von-Misses</i> Maksimal dan Deformasi Maksimal Pada <i>Chassis</i> untuk <i>Lateral</i> <i>Bending</i> | 71 |
| Tabel 4.14 Nilai Tegangan <i>Von-Misses</i> Maksimal dan Deformasi Maksimal Pada <i>Chassis</i> untuk <i>Torsional Bending</i> Depan | 71 |
| Tabel 4.15 Nilai Tegangan <i>Von-Misses</i> Maksimal dan Deformasi Maksimal Pada <i>Chassis</i> untuk <i>Torsional Bending</i> Belakang | 71 |
| Tabel 4.16 Nilai Tegangan <i>Von-Misses</i> Maksimal dan Deformasi Maksimal Pada <i>Chassis</i> untuk <i>Torsional Bending</i> Depan dan Belakang | 71 |
| Tabel 4.17 Data <i>Torsional Stiffness</i> Pembebanan Depan Pada Material Aluminium EN AW-6082T6 | 50 |
| Tabel 4.18 Data <i>Torsional Stiffness</i> Pembebanan Belakang Pada Material Aluminium EN AW-6082T6 | 72 |
| Tabel 4.19 Data <i>Torsional Stiffness</i> Pembebanan Depan dan | |

| | |
|---|----|
| Belakang Pada Material Aluminium EN AW-6082T6 | 72 |
| Tabel 4.20 Data <i>Torsional Stiffness</i> Pembebanan Depan Pada Komposit <i>Carbon Sandwich Panels</i> | 72 |
| Tabel 4.21 Data <i>Torsional Stiffness</i> Pembebanan Belakang Pada Komposit <i>Carbon Sandwich Panels</i> | 72 |
| Tabel 4.22 Data <i>Torsional Stiffness</i> Pembebanan Depan dan Belakang Pada Komposit <i>Carbon Sandwich Panels</i> | 73 |
| Tabel 4.23 Nilai <i>Torsional Stiffness</i> Pembebanan Depan | 73 |
| Tabel 4.24 Nilai <i>Torsional Stiffness</i> Pembebanan Belakang ... | 73 |
| Tabel 4.25 Nilai <i>Torsional Stiffness</i> Pembebanan Depan dan Belakang | 73 |
| Tabel 4.26 Nilai <i>Torsional Stiffness</i> /Berat Pembebanan Depan | 74 |
| Tabel 4.27 Nilai <i>Torsional Stiffness</i> /Berat Pembebanan Belakang | 74 |
| Tabel 4.28 Nilai <i>Torsional Stiffness</i> /Berat Pembebanan Depan dan Belakang | 74 |



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan mobil listrik di Indonesia melibatkan beberapa pihak yaitu BUMN, Swasta dan Perguruan Tinggi. Dalam upaya mengembangkan mobil listrik di Indonesia pemerintah memberikan tugas kepada beberapa perguruan tinggi terbaik di Indonesia untuk melakukan riset dan mengembangkan Mobil Listrik Nasional. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) merupakan salah satu dari lima perguruan tinggi yang diberi tugas untuk mengembangkan Mobil Listrik Nasional (MOLINA) tersebut. Hasil riset dalam mengembangkan Mobil Listrik Nasional (MOLINA) diantaranya adalah Ezzy 1, Ezzy 2, Bus Listrik dan Sapu Angin Surya. Dan ada beberapa lagi yaitu motor listrik (kerjasama dengan PT Garasindo), Braja Wahana dan Widya Wahana yang masih dalam tahap pengerjaan dan pembuatan. Evaluasi yang dapat dilakukan dari hasil riset dalam mengembangkan Mobil Listrik Nasional (MOLINA) yaitu Ezzy 1 dan Ezzy 2 adalah berat dari mobil listrik itu sendiri. Berat total dari Ezzy 1 dan Ezzy 2 adalah 1500 kg[2]. Karena berat itulah yang mengakibatkan efisiensi motor listrik berkurang. Efisiensi motor listrik dapat ditingkatkan dengan cara mengurangi berat kendaraan. Evaluasi dari *body* dan *chassis* yang digunakan pada Ezzy 1 dan Ezzy 2 memiliki kekuatan dan kekakuan yang baik akan tetapi berat yang dimiliki masih besar. *Body* dan *chassis* Ezzy 1 dan Ezzy 2 menggunakan material baja. Sedangkan pada mobil listrik Braja Wahana yang sedang dikerjakan menggunakan material baja untuk *chassis* dan komposit untuk *body*[2]. Berdasarkan evaluasi tersebut untuk menciptakan mobil listrik yang berbobot ringan (*ultraweight*) yaitu memanfaatkan material komposit karbon dengan material aluminium.

Chassis dan *Body* kendaraan merupakan salah satu komponen yang bisa dimodifikasi untuk mengurangi berat kendaraan, dan material yang sesuai dipergunakan untuk

memproduksi *body* kendaraan yang lebih ringan adalah material polimer komposit atupun logam yang memiliki berat yang lebih ringan seperti aluminium. Keunggulan dari material komposit adalah *strength to weight ratio* yang tinggi dibandingkan material logam. Tetapi proses pembuatannya lebih rumit dan lebih mahal dari pada menggunakan material aluminium. Selain mempertimbangkan sifat fisik berupa berat jenis yang rendah, maka sifat mekanik material polimer komposit dan aluminium perlu juga diperhatikan karena terkait dengan keamanan dari pengguna kendaraan tersebut. Sedangkan *chassis* adalah komponen kendaraan yang fungsi utamanya adalah sebagai rangka penguat konstruksi bodi kendaraan agar mampu menahan beban kendaraan dan beban impact saat terjadi tabrakan sehingga dapat melindungi penumpang[1]. *Chassis* merupakan bagian terpenting dalam stabilitas dari sebuah kendaraan, karena semua komponen yang berkaitan dengan kestabilan menempel pada *chassis*. Beberapa diantaranya adalah suspensi, roda, *steering system*, *braking system*, dan tempat meletakkan baterai serta motor listriknya. Berat dari *chassis* juga bisa dimodifikasi dengan menggunakan polimer komposit atupun logam yang memiliki berat yang lebih ringan seperti aluminium.

Penelitian mengenai komposit dan aluminium sebagai material untuk *chassis* dan *body* kendaraan sudah banyak dilakukan. Salvi Gauri Sanjay, Kulkarni Abhijeet, Gandhi Pratik Pradeep dan Baskar P melakukan penelitian mengenai analisa *finite element* pada *chassis* truk pemadam kebakaran membandingkan antara material *steel* dan komposit *carbon fiber*[3]. Jürgen HIRSCH melakukan penelitian mengenai pengembangan yang telah dilakukan pada aluminium yang diaplikasikan pada komponen otomotif[4]. Carl Andersson Eurenus, Niklas Danielsson, Aneesh Khokar, Erik Krane, Martin Olofsson dan Jacob Wass melakukan penelitian mengenai *chassis* berbahan komposit *sandwich* pada *chassis* mobil Chalmers Formula Student (CFJ)[5]. David R. Cramer dan David F. Taggart melakukan penelitian mengenai desain dan manufaktur

pada struktur *body* mobil hybrid Hypercar dengan material komposit [6]. Aplikasi *chassis* dan *body* yang terbuat dari komposit dan aluminium dapat menurunkan bobot dari kendaraan namun tetap kaku dan kuat, sehingga efisiensi kendaraan dapat meningkat. Oleh karena hal tersebut, pembuatan mobil listrik perlu dilakukan penelitian terhadap *chassis* dan *body*, desain *chassis* yang digunakan adalah *ladder chassis* yang dikombinasikan dengan *Tubular space frame chassis*. Desain *chassis* dan *body* menggunakan kombinasi material aluminium dan komposit *carbon fiber sandwich*..

1.2 Rumusan Masalah

Penggunaan aluminium sebagai *chassis* kendaraan sudah mulai banyak dilakukan contohnya pada *truck frame* yang dikembangkan oleh Alcoa & Metalsa[35], dan pada *body* juga sudah mulai dikembangkan untuk mobil Ferrari 458 Italia[36]. Sedangkan komposit *sandwich panels* sekarang ini sedang banyak dilakukan penelitian contohnya pada *chassis structure* untuk mobil Porsche 356 Speedster[37] dan *body structure* pada *monocoque chassis* mobil Chalmers Formula Student. Tetapi membandingkan material komposit *sandwich panels* dan aluminium untuk desain *chassis* dan *body* kendaraan masih jarang dilakukan.

Maka dari hal tersebut, dalam penelitian ini kemampuan material komposit *carbon fiber sandwich* dan aluminium dalam menerima beban statis berupa *torsional bending* dan vertikal *bending* untuk aplikasi *body* dan *chassis* mobil listrik akan dibandingkan.

1.3 Tujuan Penelitian

Desain *body* dan *chassis* yang berat akan menurunkan efisiensi dari kendaraan. Oleh karena itu, pemilihan material yang ringan dan memiliki kemampuan dalam menahan beban bending sangat diperlukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan dan kekakuan material komposit *carbon fiber sandwich*

dan aluminium pada *body* dan *chassis* mobil listrik dalam menerima beban statis berupa *torsional bending* dan *vertikal bending* dengan metode simulasi menggunakan *software finite element*, serta mengevaluasi berat *body* dan *chassis* mobil listrik yang dihasilkan.

1.4 Batasan Masalah

Agar penulisan ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan, maka batasan masalah yang akan diberikan adalah sebagai berikut:

1. Massa yang terlibat dalam simulasi :
 - a. Penumpang : 2 x 100 kg
 - b. Baterai + baterai box : 120 kg
 - c. *Drivetrain* : 50 kg
 - d. Motor : 100 kg
 - e. Kabin : 50 kg
 - *Dashboard*
 - *Doortrim*
 - Kursi
 - f. Body : 45 kg
 - Kaca : 41 kg
 - Aksesoris(peredam,dll) : 20 kg
 - g. Gaya gravitasi : $9,81 \text{ m/s}^2$
2. Desain kendaraan tidak berubah(tetap).
3. Material aluminium yang dipakai untuk *body* dan *chassis* adalah EN AW-6060-T4 dan EN AW-6082-T6.
4. Material carbon fiber yang digunakan adalah *Epoxy-Carbon Woven Prepreg*.
5. Material *core* yang digunakan adalah *Aluminium Honeycomb* dengan ketebalan *core* 10 mm.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini semoga dapat digunakan sebagai referensi untuk merancang mobil listrik sport.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

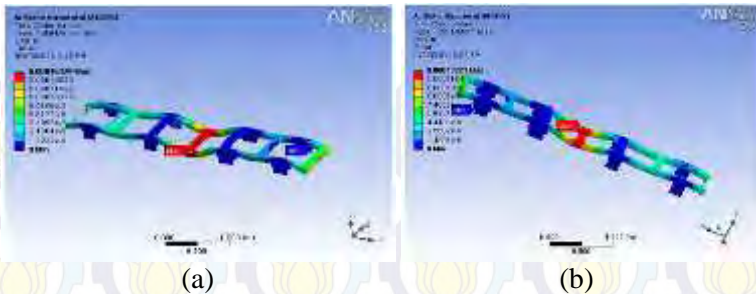
Pada tahun 2014 Salvi Gauri Sanjay, Kulkarni Abhijeet, Gandhi Pratik Pradeep dan Baskar P melakukan penelitian dengan judul “*Finite Element Analysis of Fire Truck Chassis for Steel and Carbon Fiber Materials*”[3]. Penelitian ini membahas mengenai perbandingan *chassis* truk pemadam kebakaran berbahan *steel* dengan komposit *carbon fiber*.

Simulasi yang dilakukan dengan menganalisa struktur statis dan modal dari *chassis* truk pemadam kebakaran yang dimana material yang digunakan adalah komposit *carbon fiber* dan *steel* sebagai material pembanding yang digunakan sebagai material dari *chassis*. *Chassis* truk pemadam kebakaran yang digunakan adalah jenis *ladder chassis*. Data properti material dapat dilihat pada tabel 2.1.

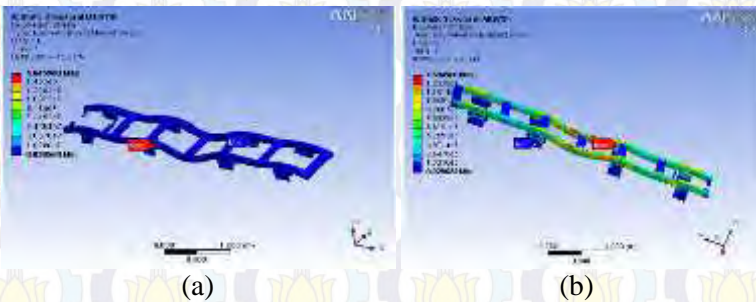
Tabel 2.1 Properti material[3]

| Material Properties | Steel | Carbon Fiber |
|-----------------------------|-------|--------------|
| Density (kg/m^3) | 7850 | 1570 |
| Young's modulus (GPa) | 200 | 190 |
| Poisson's ratio | 0.3 | 0.25 |
| Yield stress (MPa) | 250 | 200 |

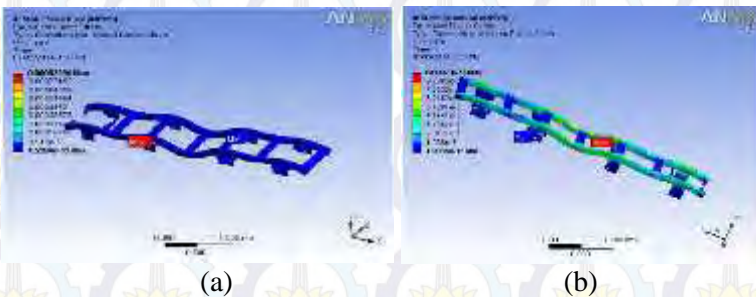
Variasi yang dilakukan oleh peneliti adalah mode deformasi pada *Modal Analysis*. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah berupa nilai distribusi tegangan, distribusi regangan, frekuensi, defleksi dan deformasi total. Beberapa hasil simulasinya adalah gambar dengan deformasi total, distribusi tegangan dan distribusi regangan pada material komposit *carbon fiber* dan *steel* seperti berikut ini:



Gambar 2.1 Deformasi Total (a) *steel* (b) komposit *carbon fiber*[3]



Gambar 2.2 Distribusi Tegangan (a) *steel* (b) komposit *carbon fiber*[3]



Gambar 2.3 Distribusi Regangan (a) *steel* (b) komposit *carbon fiber*[3]

Data hasil penelitian berupa simulasi statis analisa struktur dan analisa modal dapat dilihat pada tabel 2.2 sampai tabel 2.3.

Tabel 2.2 Hasil analisa modal pada material komposit *carbon fiber* dan *steel*[3]

| Steel Material | Frequency (Hz) | Deflection (m) | Carbon Fiber Material | Frequency (Hz) | Deflection (m) |
|----------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------|----------------|
| Deformation 1 | 284.01 | 0.14047 | Deformation 1 | 642.61 | 0.29486 |
| Deformation 2 | 327.44 | 0.17653 | Deformation 2 | 742.71 | 0.39803 |
| Deformation 3 | 329.59 | 0.59997 | Deformation 3 | 745.01 | 1.2708 |
| Deformation 4 | 345.54 | 0.39664 | Deformation 4 | 783.12 | 0.83607 |
| Deformation 5 | 388.33 | 2.152 | Deformation 5 | 872.65 | 4.531 |
| Deformation 6 | 403.19 | 0.45113 | Deformation 6 | 913.64 | 0.95167 |

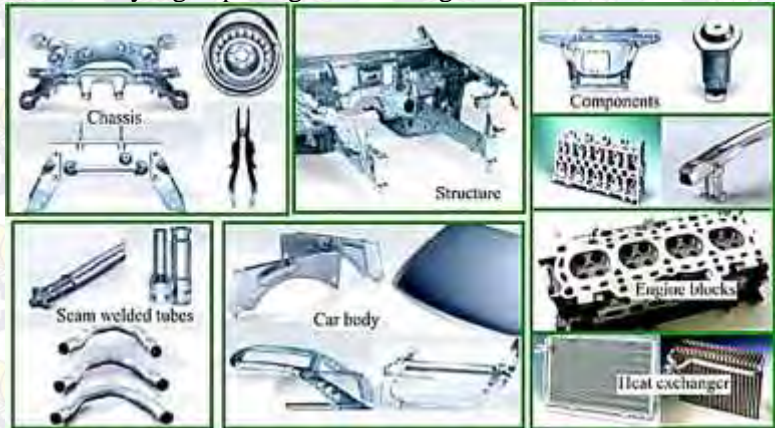
Tabel 2.3 Hasil analisa *Static Structural* pada material komposit *carbon fiber* dan *steel*[3]

| Parameter | STEEL | CARBON FIBER |
|-------------------|------------|--------------|
| Equivalent Stress | 164590000 | 169450000 |
| Equivalent Strain | 0.00082296 | 0.00073673 |
| Total Deformation | 0.00015329 | 0.00013321 |

Berdasarkan hasil analisa *Static Structural* dari material komposit *carbon fiber* dan *steel*, nilai tegangan yang dihasilkan pada komposit *carbon fiber* lebih besar dari nilai tegangan yang dihasilkan oleh *steel* dalam pengondisian beban yang sama. Sedangkan nilai regangan yang dihasilkan pada komposit *carbon fiber* lebih kecil dari nilai tegangan yang dihasilkan oleh *steel* dalam pengondisian beban yang sama. Dan nilai total deformasi yang pada komposit *carbon fiber* lebih kecil dari nilai tegangan yang dihasilkan oleh *steel* dalam pengondisian beban yang sama. Sehingga dapat disimpulkan dengan menggunakan komposit *carbon fiber* dengan pengondisian beban yang sama aman digunakan sebagai *chassis*. Keuntungan lain dengan menggunakan komposit *carbon fiber* dapat mereduksi berat sebanyak 60-68% karena densitas komposit *carbon fiber* lebih rendah dari *steel*.

Selanjutnya pada tahun yang sama pada tahun 2014 Jürgen HIRSCH melakukan penelitian yang berjudul “Recent

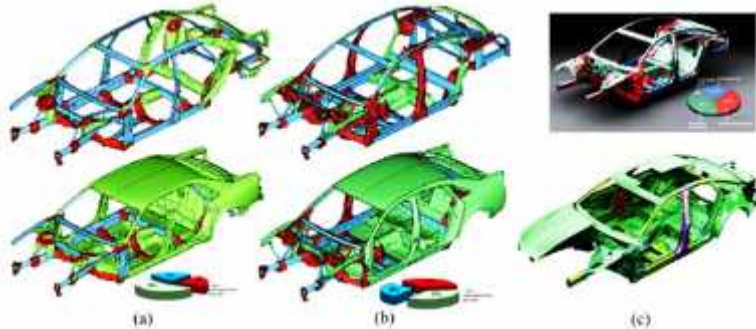
development in aluminium for automotive applications”[4]. Penelitian ini membahas mengenai mengenai pengembangan yang telah dilakukan pada aluminium yang diaplikasikan pada komponen otomotif. Berikut komponen-komponen dari kendaraan yang dapat digantikan dengan material aluminium:



Gambar 2.4 Produk aluminium untuk aplikasi komponen otomotif [4]

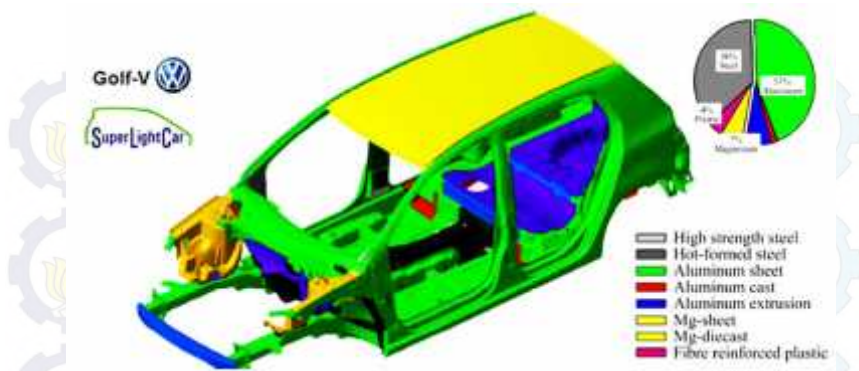
Aplikasi aluminium alloy sudah banyak diaplikasikan pada *body* dan *chassis* mobil. Contohnya pada Al–Mg–Si alloys dengan perlakuan *Age-hardening* biasa digunakan sebagai panel atau plat dengan range ketebalan 0,9-1,0 mm (di USA) dan 1,0-1,2 mm (di Eropa), dimana memiliki kekuatan yang tinggi dan kemampuan dibentuk yang baik. Selain hal tersebut Al–Mg–Si alloys juga memiliki ketahanan korosi yang sangat baik dan memiliki kemampuan *local pre-deformation*. Aluminium alloy lainnya yang banyak digunakan adalah Al–Mg–Mn alloys dengan perlakuan *Non heat-treatable* merupakan kombinasi yang optimum dimana kemampuan dibentuk dan kekuatannya sangat tinggi, pemerolehan kombinasinya melalui proses *solid solution*. *Non heat-treatable* Al–Mg–Mn alloys banyak digunakan di eropa dengan kuantitas yang besar untuk komponen-komponen otomotif. Pembentukannya dapat melalui *hot rolled*, *cold rolled* maupun *hydro-formed tubes*. Dan beberapa pembentukan

aluminium lainnya dapat melalui proses *Extrusions* maupun *Castings*. Berikut contoh aplikasi dari aluminium alloy untuk komponen otomotif:



Gambar 2.5 Aluminium extrusion pada mobil AUDI space-frame (AUDI A8 series): (a) D2, 1994; (b) D3, 2002; (c) D4, 2009[4]

Tujuan digunakannya aluminium sebagai komponen otomotif adalah untuk menciptakan kendaraan yang ringan (*light-weight design*) tetapi masih memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup tinggi. Istilah yang digunakan untuk kendaraan yang memiliki bobot paling ringan adalah *Super Light Car* (SLC). SLC terdiri dari beberapa material diantaranya *steel* (36%), *fiber reinforced plastic* (4%), magnesium (7%) dan aluminium (53%). Berikut contoh SCL *Project* pada mobil Volkswagen Golf V:



Gambar 2.6 Final SLC-body “multi-material” concept (SLC project)[4]

Kesimpulan dari penelitian ini dengan adanya konsep mobil SLC maka dapat mereduksi berat hingga 30% tanpa mengurangi performa dari mobil itu sendiri. Dan keuntungan lainnya menggunakan aluminium adalah *density* yang rendah, mampu dibentuk dengan baik dan ketahanan korosi yang tinggi. Aluminium juga merupakan material ringan ideal yang mampu mereduksi massa hingga 50% bila dibandingkan logam lainnya tanpa melihat *safety factor*nya.

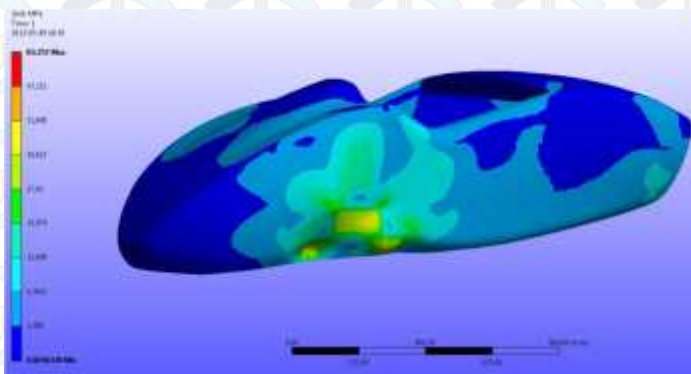
Sebelumnya pada tahun 2013 Carl Andersson Eurenus, Niklas Danielsson, Aneesh Khokar, Erik Krane, Martin Olofsson dan Jacob Wass melakukan penelitian dengan judul “*Analysis of Composite Chassis*”[5]. Penelitian ini membahas mengenai simulasi desain *chassis* pada mobil *Chalmers Formula Student* dengan menggunakan *software finite element*, *chassis* yang digunakan adalah tipe *hybrid composite chassis* yang merupakan kombinasi antara *composite monocoque chassis* dan *rear space frame*. Desain *chassis* dapat dilihat pada gambar 2.7.



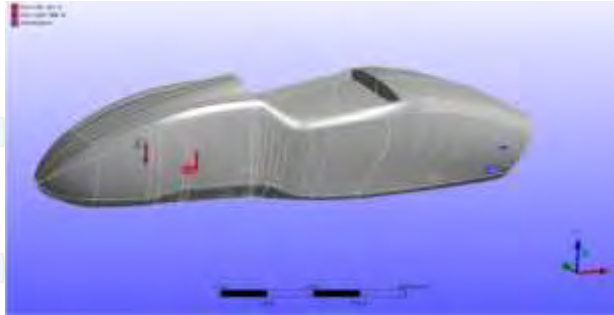
Gambar 2.7 *Chalmers Formula Student Hybrid Chassis*[5]

Material yang digunakan untuk *rear space frame* adalah baja ringan, sedangkan material yang digunakan untuk *monocoque chassis* adalah *woven carbon fiber prepregs* sebagai *skin* dan *Aluminium Honeycomb* sebagai *core*.

Simulasi yang dilakukan bertujuan untuk mencari tegangan maksimal yang diterima *composite monocoque chassis* pada saat pengereman maksimal dan *torsional stiffness* pada *composite monocoque chassis* yang dapat dilihat pada gambar 2.8 dan 2.9.



Gambar 2.8 *Equivalent Stress* pada saat pengereman maksimal[5]

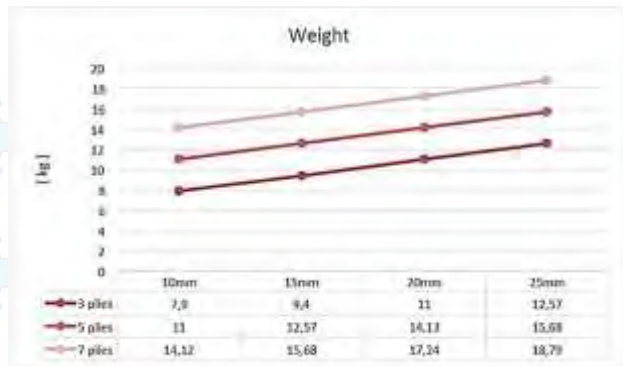


Gambar 2.9 *Torsional Stiffness Simulation Setup*[5]

Pada simulasi *torsional stiffness*, variasi yang diberikan berupa jumlah *layer* (3, 5 dan 7 *layer woven carbon fiber prepregs*) serta variasi ketebalan *core Aluminium Honeycomb* (10 , 15, 20 dan 25 mm). Hasil yang didapat berupa nilai *torsional stiffness monocoque chassis* , berat *monocoque chassis* dan perbandingan *torsional stiffness* dengan berat untuk setiap variasi ketebalan *core* dan jumlah *layer*. Hasil yang didapat dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.10, gambar 2.11 dan gambar 2.12.



Gambar 2.10 Grafik Torsional stiffness vs tebal core dan jumlah *layer*[5]



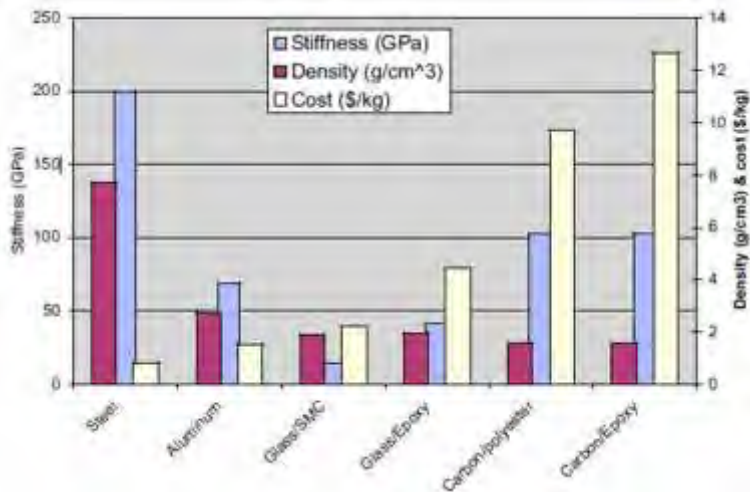
Gambar 2.11 Grafik Berat *monocoque chassis* vs tebal *core* dan jumlah *layer*[5]



Gambar 2.12 Grafik *Torsional stiffness*/berat vs tebal *core* dan jumlah *layer*[5]

Kesimpulan dari penelitian ini adalah nilai *torsional stiffness* meningkat secara linier sebanding dengan peningkatan ketebalan *core* dan peningkatan jumlah *layer*. Begitu pula untuk berat, untuk peningkatan berat *chassis* berbanding lurus dengan peningkatan tebal *core* dan jumlah *layer*. Hasil yang didapat dari simulasi ini akan dijadikan referensi dalam pembuatan *chassis Chalmers Formula Student* agar nantinya tidak terjadi *over design*.

Kemudian ditahun sebelumnya pada tahun 2012 David R. Cramer dan David F. Taggart melakukan penelitian dengan judul “*Design and Manufacture of an Affordable Advanced-Composite Automotive Body Structure*”. Penelitian ini membahas mengenai desain dan manufaktur pada struktur *body* mobil hybrid Hypercar dengan material komposit [6]. Biaya merupakan kunci tantangan disemua desain otomotif, berikut perbandingan antara *steel*, komposit dan aluminium bila dilihat pada aspek *stiffness*, *cost* dan *density*:



Gambar 2.13 *Relative materials properties & costs*[6]

Desain konsep mobil hybrid yang diberi nama Revolution ini hampir mirip dengan mobil Lexus-RX300 hanya saja *peak power*nya lebih rendah tetapi memiliki range Km yang ditidak jauh berbeda.

Struktur *body* yang digunakan 60% lebih ringan bila dibandingkan dengan *steel*. Penyusunnya menggunakan beberapa kombinasi yaitu *carbon-fiber composites*, *aluminum*, and *unreinforced thermoplastic*. *Carbon-fiber composites* digunakan sebagai komponen keselamatan penumpang dan berguna menyerap energi bila terjadi benturan. Dan aluminium digunakan sebagai *front-end sub-frame*, serta *unreinforced composites thermoplastic* digunakan sebagai *vehicle's skin* atau sebagai *exterior panels*. Desain *body* dapat dilihat pada gambar 2.15.

Gambar 2.15 *Composite structure, aluminum/composite front sub-frame, and exterior panels*[6]



Gambar 2.16 Gambar susunan *Composite safety cell*[6]

Setelah dievaluasi dari desain sebelumnya yang masih konvensional yaitu *benchmark vehicle*, berat dari mobil mengalami penurunan yang cukup signifikan yang sekarang berganti menjadi *Revolution Concept Vehicle*. Berikut tabel perbandingannya:

Tabel 2.4 Perbandingan berat dari *Revolution* dan *benchmark vehicle*[6]

| System | Benchmark mass (kg) | Revolution mass (kg) | Difference (%) |
|--------------|---------------------|----------------------|----------------|
| Structure | 430 | 186.5 | -57 % |
| Propulsion | 468 | 288.3 | -38 % |
| Chassis | 306 | 201.2 | -34 % |
| Electrical | 72 | 33.4 | -54 % |
| Trim | 513 | 143.2 | -72 % |
| Fluids | 11 | 4.1 | -63 % |
| Total | 1,800 | 856.6 | -52 % |

Kesimpulan dilakukan penelitian ini diketahui bahwa desain kombinasi untuk *Revolution's composite-intensive body* mengalami penurunan berat hampir 60% dengan performa struktur yang tinggi serta volume produksi yang tinggi.

2.2 Chassis Mobil

Chassis dibidang otomotif adalah sebuah rangka pada kendaraan yang berfungsi menopang seluruh komponen kendaraan, dan menjadi dasar bagi sebuah kendaraan. Fungsi lain dari *chassis* adalah mentransfer beban vertikal dan lateral, yang disebabkan oleh beban muatan pada kendaraan yang kemudian diteruskan ke suspensi dan dua sumbu roda. Berdasarkan konstruksi menempelnya bodi pada *chassis* dibedakan menjadi dua konstruksi kendaraan, yaitu konstruksi *composite* (terpisah) dan konstruksi *monocoque* (menyatu). Dan berikut adalah beberapa tipe dari *chassis*:

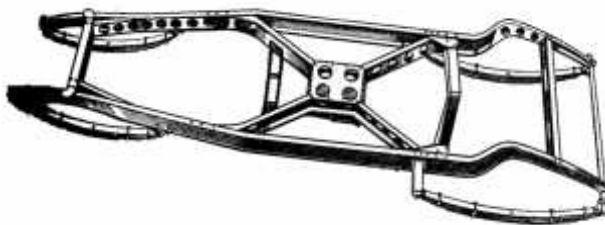
2.2.1 Ladder Frame

Ladder Frame adalah dua batangan panjang yang menyokong kendaraan dan menyediakan dukungan yang kuat dari berat beban dan umumnya berdasarkan desain angkut. Bentuk bodi ini merupakan salah satu contoh yang bagus dari tipe *chassis*. Dinamakan demikian karena kemiripannya dengan tangga, *Ladder Frame* adalah yang paling sederhana dan tertua dari semua desain. Ini terdiri hanya dari dua rel simetris, atau balok, dan *crossmembers* menghubungkan mereka. *Ladder frame* merupakan *chassis* paling awal yang digunakan sekitar tahun 1960-an, namun sampai sekarang masih banyak kendaraan yang menggunakan *chassis* jenis ini terutama kendaraan jenis SUV. Bahan material yang paling umum untuk jenis *Ladder frame* ini adalah material dengan bahan baja ringan. Dua batang memanjang tersebut merupakan bagian yang utama untuk menahan beban longitudinal akibat percepatan dan pengereman. Kemudian batang yang melintang hanya menahan agar *chassis* tetap dalam keadaan rigid atau kaku.



Gambar 2.17 *Ladder Frame*[9]

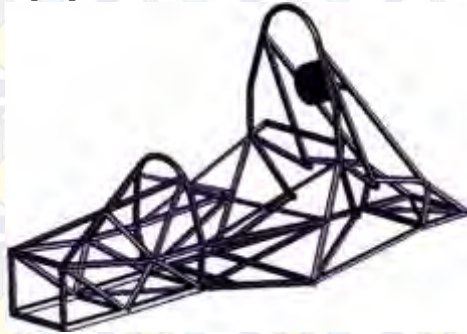
Dalam hal lain untuk *chassis Ladder Frame* ini ada juga penambahan komponen untuk lebih menguatkan *chassis*, yaitu dengan cara penambahan penguatan palang X. Hal ini dimungkinkan untuk merancang kerangka untuk membawa beban torsi di mana tidak ada unsur *frame* dikenakan saat torsi. Palang X yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini terbuat dari dua balok lurus dan hanya akan memiliki beban lentur diterapkan pada balok. Jenis *frame* ini memiliki kekakuan torsi yang baik terbagi di pusat rancangan *frame ladder*. Perlu dicatat bahwa beban lentur maksimum terjadi pada bagian sambungannya oleh karena itu bagian sambungan (*joint*) menjadi kritis. Menggabungkan sifat dari penguatan palang X dengan *ladder frame* membantu dalam memperoleh kedua sifat baik beban lentur dan torsi. Dapat dilihat pada gambar 2.18 balok silang di bagian depan dan belakang tidak hanya membantu pada saat terjadi torsi tetapi juga membantu dalam membawa beban lateral dari suspensi titik pemasangan[11].



Gambar 2.18 *Ladder frame* dengan palang X[10]

2.2.2 Tubular Space Frame

Merupakan salah satu jenis metode *chassis* terbaik yang kekuatan luluhnya sangat bagus di perlindungan kekakuan torsional, ketahanan beban berat dan beban kejut jika memiliki sambungan yang baik. Tubular Space Frame memakai berbagai macam pipa circular (kadang – kadang dipakai bentuk squaretube agar mudah disambung, meskipun begitu bentuk circular memiliki kekuatan begitu besar). Posisinya yang berbagai arah menghasilkan kekuatan mekanikal untuk melawan gaya dari berbagai arah. Pipa tersebut dilas sehingga terbentuk struktur yang kompleks[11].



Gambar 2.19 Tubular Space Frame[12]

2.2.3 Monocoque

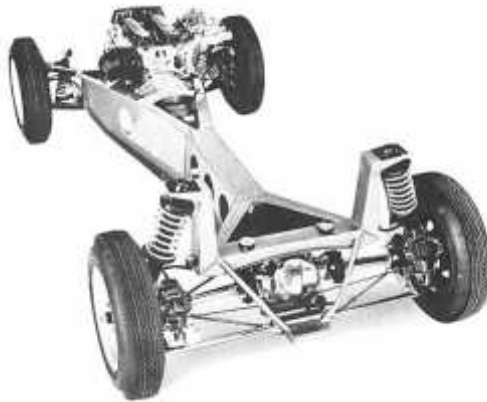
Monocoque merupakan satu kesatuan struktur *chassis* dari bentuk kendaraannya sehingga *chassis* ini memiliki bentuk yang beragam yang menyesuaikan dengan bodi mobil. Meskipun terlihat seperti satu kesatuan dari rangka dan bodi mobilnya, namun sebenarnya *chassis* ini dibuat dengan menggunakan pengelasan melalui proses otomasi sehingga hasil pengelasan yang berbentuk sempurna dan terlihat seperti tidak ada hasil pengelasan[11]. Kelemahan dari *chassis* ini adalah tidak bisa meredam getaran dengan baik, karena getaran akan tersalurkan ke bodi yang menyatu dengan chassis, kelebihan dari konsep ini adalah beratnya yang ringan dan dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar.



Gambar 2.20 *Monocoque*[13]

2.2.4 *Backbone*

Tipe ini adalah aplikasi langsung dari teori jenis rangka pipa. Ide awalnya adalah dengan membuat struktur depan dan belakangnya yang terhubung dengan sebuah rangka tube yang melintang disepanjang mobil. *Chassis backbone* ini hampir seluruhnya adalah struktur kaku dan dapat menahan semua beban. Karena begitu sempit, dindingnya umumnya dibuat tebal. *Chassis Backbone* memiliki kekakuan dari luas area bagian "*backbone*" itu sendiri. Bentuk rancang bangun *chassis* jenis tipe ini adalah tetap dengan mengandalkan *backbone* tetapi dengan menambahkan struktur tambahan untuk lebih mengkokukan backbone itu sendiri[11].



Gambar 2.21 *Backbone chassis*[14]

2.3 Bentuk *Chassis*

Kendaraan masa kini, umumnya menggunakan *chassis* dengan material berbentuk besi *hollow* atau besi CNP (kanal C). Kedua bentuk ini dipilih karena memiliki berat yang lebih ringan namun *safety factor* dari kendaraan sendiri masih dalam jangkauan aman. *Manufacturing* menggunakan kedua material ini juga cenderung lebih mudah. Kekuatan merupakan sifat mekanik dari suatu material. Kekuatan adalah kemampuan suatu material untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan material menjadi patah. Pada kendaraan material bisa kehilangan fungsinya karena mengalami beban saat jalan. Hilangnya fungsi tersebut karena ada dua sebab, yaitu beban ekstrim atau kelelahan material.

2.3.1 Besi *Hollow*

Besi *hollow* merupakan material dengan berbentuk pipa dengan luas penampang segi empat. Besi *hollow* biasa digunakan pada konstruksi, seperti pada Gambar 2.22 Beberapa tahun ini, ada beberapa produsen mobil yang menggunakan besi *hollow* untuk material.



Gambar 2.22 Chassis mobil Mercedes tahun 1901[15]

2.3.2 Besi CNP (Kanal C)

Besi CNP atau biasa dikenal dengan besi kanal C merupakan besi yang memiliki bentuk luas penampang seperti huruf C. Besi CNP ini biasa digunakan untuk material *chassis* dari truck, seperti pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23 Chassis dari truk heavy duty[16]

2.4 Properti Material Chassis dan Body

Berikut properti material dari *carbon steel*, *alloy steel*, *aluminium alloy* dan *carbon fiber* yang dapat digunakan sebagai material *chassis* dan *body*:

Tabel 2.5 *Material properties carbon steel, alloy steel, aluminium alloy dan carbon fiber*[7]

| Properties | Carbon Steel | Alloy Steel | Aluminium Alloy | Carbon Fiber [Woven] |
|--|--------------|-------------|-----------------|----------------------|
| Density (g/cc) | 7.89 | 7.85 | 2.70 | 1.79 |
| Elastic Modulus (Gpa) | 187-213 | 200-207 | 67.0-73.0 | 243 |
| Bulk Modulus (Gpa) | 152-163 | 160 | | |
| Shear Modulus (Gpa) | 80.0 | 80.0 | 26.0 | |
| Poisson's Ratio | 0.28-0.3 | 0.29 | 0.33 | |
| Coefficient Thermal Expansion ($\mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$) | 10.4-15.1 | 10.6-14.7 | 24.0 | |
| Melting Point (°C) | | | 475-657 | |
| Thermal Conductivity (W/m-K) | 21.9-52.0 | 52.0 | 190 | |
| Specific Heat (J/Kg-°C) | 0.470-0.519 | 0.470 | 0.880 | |
| Electrical Resistivity (ohm-cm) | 0.0000174 | 0.0000174 | 0.00000600 | |
| Tensile Strength (Mpa) | 450-2730 | 372-2310 | 70-750 | 4280 |
| Yield strength (Mpa) | 245-1740 | 203-2000 | 69-730 | 200 |
| Percent Elongation (%) | 5.0-34.2 | 7-30.0 | 1.0-25 | 1.8 |
| Hardness (Brinell) | 85-388 | 121-578 | 20-210 | |

2.5 Aluminium

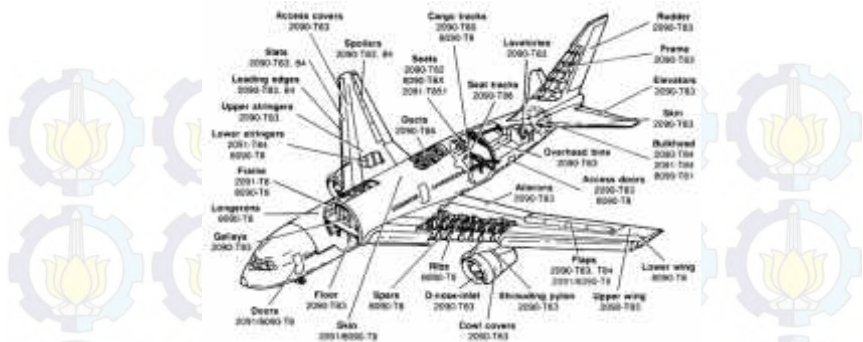
Aluminium merupakan logam kedua terbanyak yang ada di bumi setelah besi, dan menjadi pesaing dalam ekonomi rekayasa engineering untuk aplikasi komponen-komponen industri, otomotif, *aerospace* dan lain-lain. Pada akhir abad ke-19 aluminium sangat populer dalam perkembangan industri karena karakteristik materialnya yang unik dan konsisten akan kualitasnya. Pada tahun 1886 Charles Hall di Ohio dan Paul

Heroult di Perancis melakukan pengembangan pertama mengenai mesin pembakaran internal dan aluminium berperan sebagai komponen otomotif yang meningkatkan nilai rekayasa engineering. Bentuk aplikasi komersial pertama dibidang industri dengan material aluminium adalah bingkai cermin, nomor rumah dan nampan saji[8].

Aluminium hanya memiliki berat 2.7 g/cm^3 , sepertiga dari berat baja (7.83 g/cm^3), tembaga (8.93 g/cm^3) atau kuningan (8.53 g/cm^3). Dan memiliki ketahanan korosi yang sangat baik dari kondisi lingkungan termasuk atmosfer, air (air garam), petrokimia dan bahan kimia lainnya. Aluminium juga sangat baik untuk konduksi elektrik maupun termal. Konduktivitas termal aluminium alloy dapat mencapai 50-60% dari pada tembaga sehingga dapat digunakan sebagai *heat exchangers*, *evaporators*, *automotive cylinder heads* dan *radiators*[8].

Aluminium alloy dapat dibedakan menjadi dua kategori yaitu *Cast Aluminum* dan *Wrought Aluminium*. Perbedaan dari kedua kategori aluminium alloy tersebut adalah berdasarkan pada mekanisme dari pengembangan properti elemen paduannya. Proses manufaktur aluminium dan aluminium alloy dapat dibedakan menjadi dua kategori. Kategori pertama yaitu *standardized products* diantaranya *sheet*, *plate*, *foil*, *rod*, *bar*, *wire*, *tube*, *pipe*, dan *structural forms*. Kategori kedua yaitu *engineered products* biasa digunakan untuk mendesain *specific applications* diantaranya yaitu *extruded shapes*, *forgings*, *impacts*, *castings*, *stampings*, *powder metallurgy (P/M) parts*, *machined parts*, dan *metal-matrix composites*. Distribusi persentase produk aluminium dapat dilihat pada diagram berikut[8]:

Berikut contoh aplikasi penggunaan aluminium aluminium alloy untuk komponen-komponen pesawat terbang komersial dapat dilihat pada gambar 2.24:



Gambar 2.24 Penggunaan Aluminium alloy pada pesawat komersial[8]

2.6 Komposit

Komposit merupakan material multifase yang didapatkan dari kombinasi material yang berbeda untuk mendapatkan sifat mekanik yang tidak bisa didapatkan apabila material diaplikasikan secara individual[17]. Komponen-komponen penyusun komposit tetap bisa dibedakan secara makro dan memiliki sifat seperti sebelumnya. Material komposit banyak diaplikasikan karena memiliki kombinasi sifat yang tidak bisa didapatkan apabila menggunakan material konvensional seperti logam, polimer, maupun keramik.

Sifat komposit bervariasi dan tergantung pada berbagai macam faktor antara lain : jenis komponen yang dipilih, distribusi komponen, dan morfologi komponen.

Ada beberapa kelebihan dari komposit apabila dibandingkan dengan material konvensional antara lain :

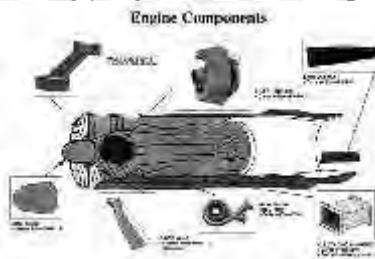
1. Material komposit mampu berperan menjadi bagian terintegrasi, misalnya satu komposit mampu menggantikan peran dari beberapa material logam.
2. Komposit memiliki *stiffness-to-density ratio* yang baik. Rasionya 1/5 dari baja dan 1/2 dari aluminium.
3. Komposit memiliki *strength-to-density ratio* yang baik. Dengan kelebihan ini pesawat maupun kendaraan bermotor

bisa bergerak lebih cepat dengan efisiensi bahan bakar yang lebih baik. Kekuatan spesifiknya sekitar tiga hingga lima kali lebih baik jika dibandingkan dengan baja, oleh karena itu komponen pesawat terbang menggunakan komposit karena lebih ringan namun tetap kuat.

4. *Endurance limit (fatigue strength)* dari komposit baik. Untuk paduan aluminium maupun baja *endurance limit* berada pada 50% dari nilai *static strength*, sementara untuk *unidirectional carbon/epoxy composite* bisa mencapai 90% dari *static strength*. [18]

Komposit banyak diaplikasikan dalam dunia industri salah satunya adalah industri pesawat terbang. Komponen pesawat terbang harus memiliki *strength-to-density* yang baik, komponen harus ringan tapi kuat, dimana dengan berat yang sama komposit mampu menahan beban yang memiliki nilai lebih tinggi jika dibanding dengan baja agar pesawat mampu terbang dengan kinerja lebih baik.

Berikut ini contoh gambar aplikasi pada komponen penyusun mesin pesawat terbang yang terbuat dari komposit :

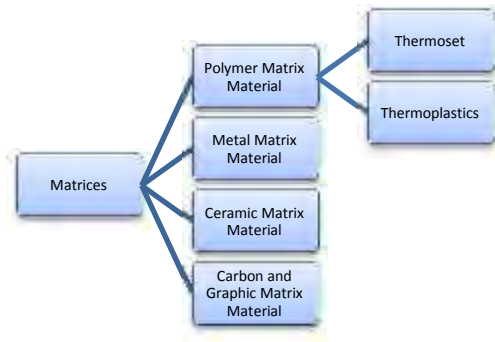


Gambar 2.25 Komponen pada mesin pesawat yang terbuat dari komposit [18]

2.7 Matriks

Komposit umumnya terdiri dari komponen matriks dan pengisi (*filler*). Matriks yang berfungsi untuk mengikat *filler* serta mendistribusikan tegangan yang diterima oleh komposit, *filler* umumnya bersifat lebih kuat dan kaku jika dibandingkan dengan matriks, sehingga *filler* berfungsi sebagai penguat

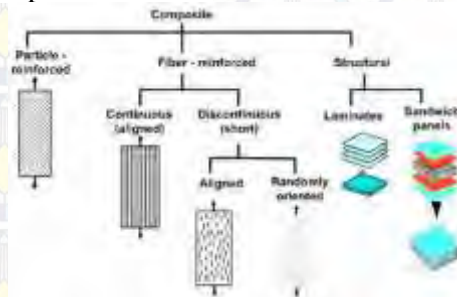
(*reinforcement*). Matriks dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis materialnya. Gambar 2.26 menunjukkan klasifikasi dari matriks.



Gambar 2.26 Klasifikasi matriks[19]

2.8 Penguat (*Reinforcement*)

Komposit bisa diklasifikasikan berdasarkan jenis penguatnya, ada beberapa jenis komposit berdasarkan penguatnya : komposit dengan penguat partikel, komposit dengan penguat fiber, dan komposit struktural.

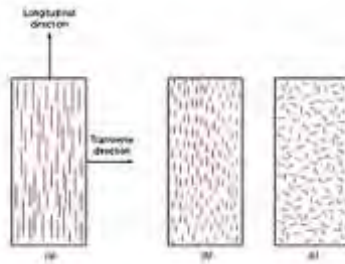


Gambar 2.27 Klasifikasi komposit[20]

2.8.1 *Fiber Reinforced Composite*

Pada sub-spesifikasi *fiber reinforced*, penguat yang digunakan berbentuk serat. Ada dua jenis yaitu *continuous*(serat panjang) dan *discontinuous*(serat pendek), kedua jenis ini dibedakan berdasarkan bentuk susunan seratnya. Pada

discontinuous ada dua jenis yaitu *aligned* (lurus) dan *random orientation* (acak). Interaksi antara matriks dan penguat memegang peranan penting. Penguat cenderung menahan pergeseran matrix di sepanjang serat dan menerima distribusi tegangan dari matriks. Peningkatan kualitas sifat-sifat mekaniknya tergantung pada ikatan *interface* matriks dan seratnya. *Fiber reinforced composites* memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi jika menerima gaya searah dengan arah serat, akan tetapi jika gaya yang diterima tegak lurus dengan arah serat maka kekuatan dan kekakuannya akan sangat lemah.



Gambar 2.28 *Continuous and aligned* (a), *discontinuous and aligned* (b) dan *discontinuous randomly oriented fiber reinforced composites* [20].

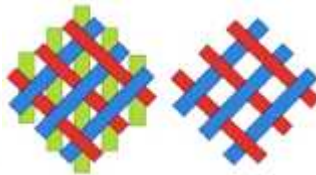
Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa tipe serat pada komposit, yaitu:

- A.) *Continuous fiber / Uni-directional*, mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya. Jenis komposit ini paling banyak digunakan. Kekurangan tipe ini adalah lemahnya kekuatan antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya.
- B.) *Woven fiber*, komposit ini tidak mudah terpengaruh pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan tidak sebaik tipe *continuous fiber*.

C.) *Discontinuous fiber (chopped fiber)*, komposit dengan serat pendek ini dibedakan menjadi:

1. *Aligned discontinuous fiber*
2. *Off-axis aligned discontinuous fiber*
3. *Randomly oriented discontinuous fiber*

D.) *Hybrid fiber*, gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. pertimbangan tipe ini adalah dapat meminimalisir kekurangan dari dua tipe dan menggabungkan kelebihan dari dua tipe tersebut.



Gambar 2.29 *Woven fiber triaxial* (kiri) dan *biaxial* (kanan)[22]

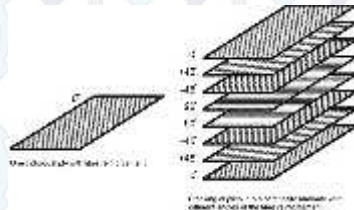
Fungsi utama dari *reinforcement* dalam komposit adalah:

1. Untuk menerima beban gaya. Karena pada struktur komposit, 70% - 90% gaya diterima oleh *reinforcement*.
2. Untuk memberikan kekakuan, kekuatan dan properti struktur lainnya pada komposit.
3. Untuk memberikan konduktivitas listrik (tergantung pada jenis serat yang digunakan)[18].

2.8.2 Composite Structural

Pada gambar 2.27 tentang klasifikasi komposit, sub-spesifikasi struktural komposit terdiri dari *laminated* dan *sandwich panel*. *Laminated* adalah gabungan dari dua atau lebih *lamina* (satu lembar komposit dengan arah serat tertentu) yang membentuk elemen struktur secara integral pada komposit. Proses pembentukan *lamina* menjadi *laminated* dinamakan proses *laminasi*. Sebagai elemen sebuah struktur, *lamina* yang serat penguatnya searah saja (*unidirectional lamina*) pada umumnya tidak menguntungkan karena memiliki sifat yang buruk. Untuk itulah struktur komposit dibuat dalam bentuk *laminated* yang

terdiri dari beberapa macam *lamina* yang diorientasikan dalam arah serat yang berbeda dan digabungkan bersama sebagai sebuah unit struktur.



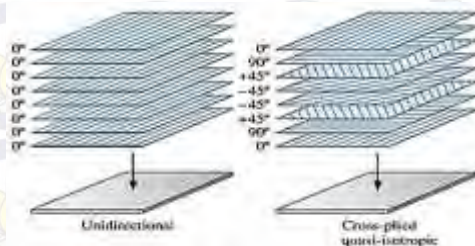
Gambar 2.30 *Lamina* (kiri) dan *Laminate* (kanan)[23]

Terdapat beberapa jenis laminate, yaitu:

A.) *Continuous fiber laminate*, lamina penyusunnya dengan serat yang tidak terputus hingga mencaai ujung - ujung lamina. *Continuous fiber laminate* terdiri dari:

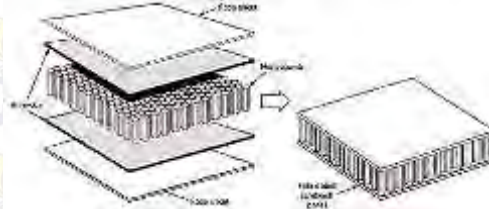
1. *Unidirectional, laminate* dengan tiap *lamina* mempunyai arah serat yang sama. kekuatan terbesar dari jenis *laminate* ini adalah searah seratnya.
2. *Crossplied quasi-isotropic*, laminate ini mempunyai susunan lamina dengan serat yang saling tegak lurus satu sama lain.
3. *Random/woven fiber composite*, *Laminate* ini mempunyai susunan serat dengan bentuk anyaman.

B.) *Discountinuous fiber laminate*, *laminate* dengan masing - masing *lamina* terdiri dari potongan serat pendek yang terputus dalam arah tertentu atau acak.



Gambar 2.31 *Laminate Unidirectional* (kiri) dan *Crossplied quasi - isotropic* (kanan)[24]

Komposit Sandwich merupakan komposit yang tersusun dari 3 lapisan, yaitu 2 lapisan luar (skin) dan 1 lapisan inti (core). Lapisan luar dan lapisan inti digabungkan menggunakan lapisan adhesive berupa epoxy structural atau adesive film. Komposit sandwich dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Komposit sandwich merupakan jenis komposit yang cocok untuk menahan beban lentur, kejutan dan meredam getaran dan suara. Komposit sandwich dapat diaplikasikan sebagai struktural maupun non-struktural dari bagian internal maupun eksternal pada pesawat, kereta, bus, truk dan jenis kendaraan lainnya.



Gambar 2.32 Konstruksi Composite Sandwich[25]

2.8.3 Carbon Fiber

Carbon fibre merupakan material yang terdiri dari serat berdiameter 5-10 μm dengan sebagian besar susunannya adalah atom karbon, dimana struktur karbon berbentuk kristal. Ukuran *tow* pada *Carbon fibre* terdiri dari 3k, 6k, 12k, 24k, 40k, 48k, 80k, 160k, 320k, 400k dan 410k. Untuk 1 *tow* yang terdiri dari 3k maksudnya adalah terdiri dari 3000 serat[28].

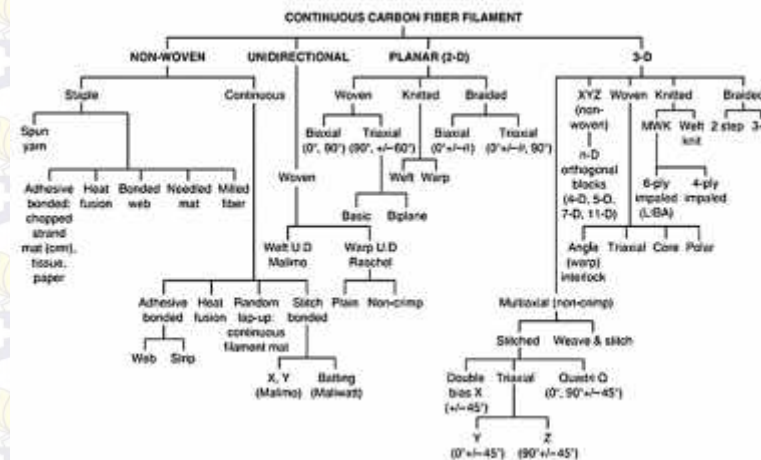


Gambar 2.33 Perbandingan ukuran serat karbon 6 μm (hitam) dengan rambut manusia (abu-abu)[26].

Carbon fibre dibuat dengan karbonisasi dari material PAN (*Polyacrylonitrile*) dan Rayon yang biasa digunakan saat ini, material tersebut merupakan polimer tekstil. Setelah proses karbonisasi dilanjutkan proses grafitisasi pada temperatur tinggi dan dilanjutkan dengan proses penggulungan serat-serat karbon atau ditenun menjadi bentuk anyaman. *Carbon fiber* dapat diaplikasikan pada pesawat terbang, otomotif, konstruksi, militer, dan peralatan olahraga. *Carbon fiber* biasanya dijadikan *filler* untuk material komposit, kelebihan dari *Carbon fiber* ini antara lain:

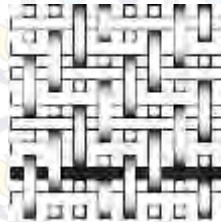
- Memiliki massa jenis yang kecil.
- Memiliki kekakuan, kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang tinggi.
- Memiliki *chemical resistance* yang tinggi, *temperature tolerance* yang tinggi and *thermal expansion* yang rendah[28].

Pada *Carbon fiber* dapat berbentuk gulungan benang atau tenunan seperti kain, perbedaan bentuk dan jenis anyaman memiliki sifat yang berbeda - beda. Klasifikasi arsitektur dari *Carbon fiber* dapat dilihat pada gambar 2.34.



Gambar 2.34 Klasifikasi arsitektur pada *Carbon fiber*[27]

Pada sub-spesifikasi *Planar (2-D)*, *woven biaxial* terdiri dari *plain weave*, *basket weave*, *leno weave*, *mock leno weave*, *twill weave*, *satin weave* dan *high modulus weave*. Pada bentuk *twill weave*, pola yang dibentuk adalah pola selang - seling dengan 1 *tow* melewati 2 *tow* diatas atau dibawah, pola ini cukup baik karena anyamannya yang cukup rekat.



Gambar 2.35 *Twill Weave*[27]

2.9 Material Inti (*core*)

Material core adalah material yang berfungsi untuk membuta struktur komposit menjadi kaku, menambah ketebalan komposit tanpa meningkatkan berat secara drastis. Contoh dari material *core* yang digunakan pada komposit adalah *honeycomb*, *foam*, kayu balsa, *lantor soric* dan *diviny cell*.

2.9.1 *Honeycomb Core*

Honeycomb core adalah material dengan susunan *cell* berbentuk hexagonal seperti sarang lebah. Geometri Hexagonal adalah geometri yang mampu disusun tanpa terputus dan bentuknya yang segi enam dapat mentransferkan beban yang diterima. Ada 3 jenis bahan *honeycomb core* yang sering dipakai untuk komposit yaitu aluminium, *nomex aramid* dan *polypropylene*. Pada saat ini sudah banyak bentuk - bentuk dari *cellhoneycomb core*, diantaranya adalah *OX-Core*, *Reinforced hexagonal core*, *Flex core*, *Double flex core* dan *tube core*[29].



Gambar 2.36 Aluminium Honeycomb[29]

Aluminium *Honeycomb* terbuat dari aluminium alloy seri 5056, 5052, 2024 dan 3003. Merupakan core utama yang sering digunakan pada komposit dalam bidang penerbangan dan otomotif. Aluminium *honeycomb* akan memberikan kekakuan yang tinggi dan mengurangi berat yang signifikan jika diproduksi dengan benar. Properti dari aluminium *honeycomb* dapat dilihat pada gambar 2.37.

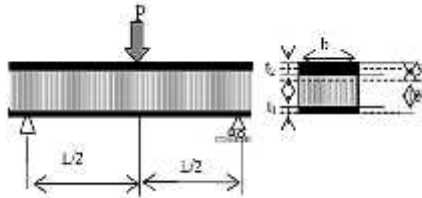
| | 1/8" (3.2mm) | 1/4" (6.4mm) | 3/4" (19.1mm) |
|--|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Nominal Density (pcf) | 4.5 (72.1kg/m ³) | 5.2 (83.3kg/m ³) | 1.8 (28.8kg/m ³) |
| Aluminium Series | 5052 | 3003 | 3003 |
| Foil Thickness (micron) | 35 | 70 | 50 |
| Perforated? | No | Yes | Yes |
| Corrosion Treated | No | Yes | Yes |
| Compressive Strength - Bare (psi) | 539 | 625 | 55 |
| Compressive Strength - Stabilised (psi) | 559 | 655 | 65 |
| Crush Strength (psi) | 255 | 235 | 25 |
| Plate Shear (L direction) Strength (psi) | 340 | 360 | 50 |
| Plate Shear (L direction) Modulus (ksi) | 70 | 65 | 13 |
| Plate Shear (W direction) Strength (psi) | 220 | 210 | 35 |
| Plate Shear (W direction) Modulus (ksi) | 31 | 35 | 6 |

Gambar 2.37 Properti Aluminium Honeycomb[29]

2.10 Pengujian Material Komposit dengan *Three Point Bending*

Merupakan pengujian yang dilakukan terhadap suatu material untuk mengetahui karakteristik mekanik dari material tersebut. Pengujian *three point bending* dilakukan untuk mengetahui kekuatan lentur (*flexural stiffness*) komposit. Pengujian ini dilakukan dengan cara batang spesimen disangga di kedua sisi dan diberikan beban diantara dua penyangga tersebut sampai spesimen tersebut rusak atau patah. Idealnya spesimen uji

akan mengalami kegagalan retak (*fracture*) akibat beban geser (*shear*). Pada bagian atas spesimen mengalami beban tekan dan pada bagian bawah spesimen mengalami beban tarik. Pengujian berdasarkan standar ASTM C 393-94 (*sandwich*)[31].



Gambar 2.38 Pembebanan Pada Uji *Three Point Bending*[32]

Pada pengujian bending dengan metode *three point bending* digunakan persamaan yang sesuai dengan ASTM C 393, untuk mengetahui besarnya tegangan geser pada core (*core shear stress*) yaitu dengan persamaan:

$$\tau = \frac{P}{(d+c)b} \quad (2.1)[31]$$

Besarnya tegangan bending maksimum pada bagian permukaan (*facing bending stress*) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{P}{2t(d+c)b} \quad (2.2)[31]$$

Besarnya defleksi pada material komposit *sandwich* (*sandwich beam deflection*) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\Delta = \frac{PL^3}{48D} + \frac{PL}{4U} \quad (2.3)[31]$$

dimana:

$$U = \frac{G(d-c)^2b}{4c} \quad (2.4)[31]$$

Besarnya kekakuan bending material komposit *sandwich* (*bending stiffness*) dengan permukaan yang sama dapat dihitung dengan persamaan:

$$D = \frac{E(d^3 - c^3)b}{12} \quad (2.5)[31]$$

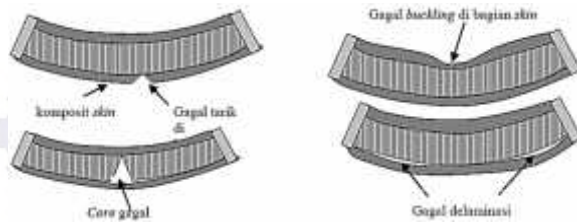
Besarnya momen yang terjadi pada pengujian bending dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$M = \frac{P}{2} \times \frac{L}{2} \quad (2.6)[31]$$

Dimana:

- τ = core shear stress (Mpa)
- σ = facing bending stress (Mpa)
- Δ = total sandwich beam deflection (mm)
- P = load (N)
- d = sandwich thickness (mm)
- c = core thickness (mm)
- b = sandwich width (mm)
- E = facing modulus (Mpa)
- G = core shear modulus (Mpa)
- M = Momen (Nm)
- U = panel shear rigidity (N)

Pada spesimen yang diuji bending, umumnya kerusakan yang terjadi akibat adanya gaya tekan dan gaya tarik yang terjadi pada komposit. Pada bagian atas komposit mengalami gaya tekan akibat beban yang diberikan oleh mesin, pada sisi bawah komposit mengalami gaya tarik akibat defleksi yang terjadi setelah komposit menerima beban. Dengan beban yang diterima oleh komposit maka akan terjadi gaya geser sebelum terjadi kegagalan pada komposit tersebut. Gaya geser yang terjadi pada interlamina menyebabkan delaminasi pada komposit tersebut, sehingga mengakibatkan kegagalan pada spesimen bending.



Gambar 2.39 Macam mode kegagalan uji bending struktur komposit sandwich[32]

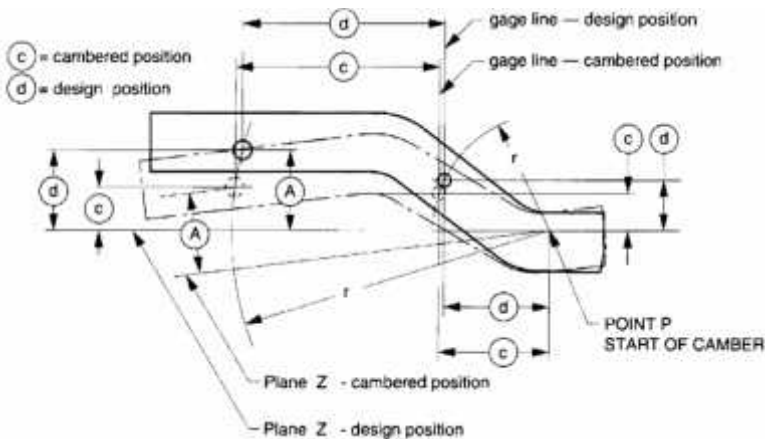
2.11 Tegangan dan Deformasi Yang Diizinkan Pada Chassis Kendaraan

Tegangan yang diizinkan merupakan tegangan yang berada dibawah tegangan *yield* materialnya. Dalam kondisi realnya tegangan yang diizinkan didapatkan dengan adanya factor pembagi yaitu *safety factor*, nilai *safety factor* untuk chassis mobil sehari-hari adalah 1,5[41]. Deformasi yang diizinkan menurut teori *beam deflection* memiliki indeks defleksi yang didapat dari perbandingan defleksi dengan panjang batang.

$$f = \frac{\text{defleksi}}{\text{panjang Beam}} = \frac{\delta}{L} \quad (2.7)[41]$$

Untuk aplikasi *automobile* seperti *chassis* kendaraan (mobil), nilai f (*deflection index*) yang diizinkan adalah $1/240$ atau $0.0042L$ [41].

Kompensasi *bending deflection* menurut ASME Y14.32.1 M, *Chassis Frames- Passenger and light Truck - Ground Vehicle Practices*, yang diadopsi pada tanggal 8 February 1995 untuk digunakang *Department of Defense* (DoD) U.S Army menyebutkan bahwa kompensasi defleksi yaitu pertemuan atau persimpangan (*break point*) antara satu atau dua gage line vertikal dan gage line horizontal pada satu titik tangkap yang sama pada struktural member[40]. Berikut gambar kompensasi *bending deflection* menurut ASME Y14.32.1 M :



Gambar 2.40 Kompensasi *bending deflection* menurut ASME Y14.32.1 M[40]

2.12 Pembebanan Pada Mobil

Dalam merancang sebuah kendaraan sangatlah penting untuk mengetahui beban- beban apa saja yang akan terjadi pada kendaraan. Pada pengujian kekuatan dan kekakuan *chassis* sebuah kendaraan dapat dilakukan dengan dua metode. Metode yang pertama adalah eksperimen dan metode kedua adalah simulasi. Dalam metode simulasi, *chassis* dikenakan pembebanan statik maupun dinamik yang mewakili beban sebenarnya. Beban yang terjadi pada kendaraan dibedakan menjadi dua bagian, yaitu kasus pembebanan global dan kasus pembebanan lokal.

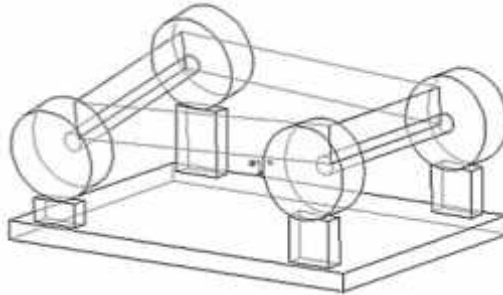
2.12.1 Pembebanan Global

Pada kasus pembebanan global, pembebanan yang terjadi adalah pembebanan yang terjadi pada keseluruhan *chassis* kendaraan. jenis pembebanan yang terjadi diantaranya adalah:

A.) *Torsional Bending*

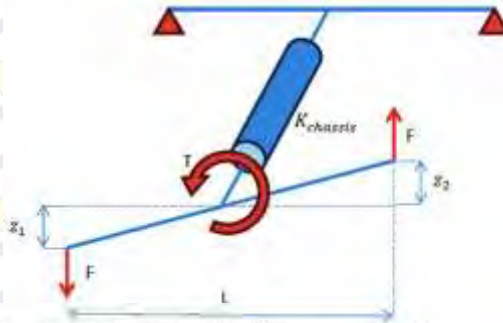
Kekakuan terhadap beban *torsi* sering dianggap sebagai pertimbangan yang paling penting selama pembuatan *chassis*.

Beban *torsi* akan mencoba memutar salah satu ujung *chassis* dan salah satu ujung lainnya ditahan. Peran suspensi sangat berpengaruh disini, karena suspensi harus dapat memastikan seluruh ban harus tetap menempel pada tanah. Pada kenyataannya beban *torsi* muncul dalam kasus yang berbeda - beda, kasus yang paling umum adalah dengan memberi gaya pada salah satu ban dan tiga ban lainnya tetap menempel pada tanah. Kasus pembebanan ini adalah cara standar dalam mengukur kekakuan *chassis* baik secara realita atau simulasi komputer[5].



Gambar 2.41 Reaksi chassis ketika beban *torsi* diberikan[5]

Perhitungan *torsional stiffness* pada kendaraan dapat dilakukan melalui persamaan berikut:

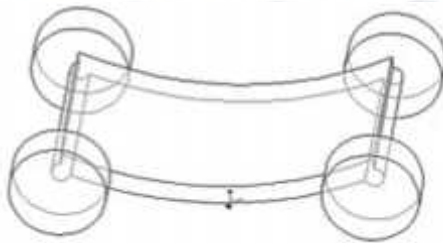


Gambar 2.42 *Torsional stiffness theoretical model* [5]

$$K_{chassis} = \frac{\text{Torque [Nm]}}{\text{Angle of torsion [degrees]}} = \frac{FL}{\frac{\tan^{-1}(\Delta z_1 + \Delta z_2)}{2L}} \quad (2.7)[5]$$

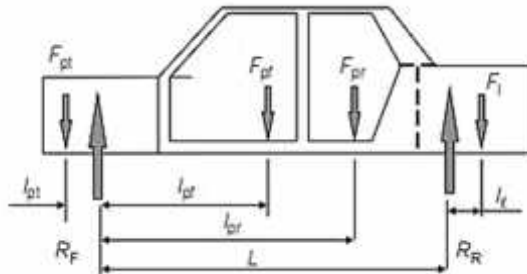
B.) Vertikal *Bending*

Chassis kendaraan akan mengalami deformasi tekuk akibat transfer beban *longitudinal* yang terjadi selama perubahan kecepatan yang tiba-tiba. Selama percepatan bagian depan mobil naik sehingga menyebabkan bagian tengah turun. Fenomena yang lainnya adalah saat proses pengereman, dimana beban akan ditransfer dari pusat ke bagian depan dan menyebabkan deformasi di bagian tengah naik. Untuk mengurangi perilaku ini dapat menggunakan *anti-squat suspension linkage*. Ketika merancang *chassis*, deformasi akibat gaya vertikal bukanlah prioritas utama yang harus dipertimbangkan, karena dengan memiliki kekakuan akibat beban *torsi* yang baik sudah memiliki kekakuan lentur yang memadai[5].



Gambar 2.43 Penampakan *chassis* akibat akselerasi yang besar[5]

Perhitungan vertikal *bending* pada kendaraan dapat dilakukan melalui persamaan berikut:



Gambar 2.44 Distribusi beban vertikal tampak samping[30]

Dimana:

F_{pt} = Gaya yang diakibatkan oleh *powertrain*

F_{pf} = Gaya yang diakibatkan oleh penumpang depan

F_{pr} = Gaya yang diakibatkan oleh penumpang belakang

F_l = Gaya yang diakibatkan barang yang ada pada bagasi

R_f = Gaya reaksi oleh roda bagian depan

R_r = Gaya reaksi oleh roda bagian belakang

Pada Gambar 2.44, ditunjukkan distribusi beban vertikal pada mobil dengan wheelbase (L) dan jarak setiap beban terhadap roda depan. Dari gambar tersebut dapat diturunkan menjadi persamaan sebagai berikut :

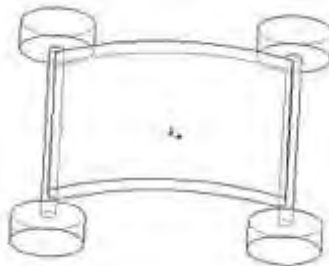
$$R_f = \frac{F_{pt}(L+l_{pt})+F_{pf}(L-l_{pf})+F_{pr}(L-l_{pr})-F_l l_l}{L} \quad (2.8)[30]$$

atau

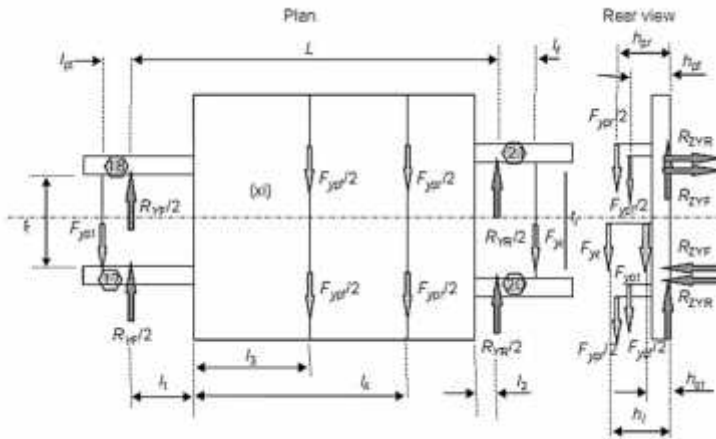
$$R_r = \frac{F_{pf} l_{pf} + F_{pr} l_{pr} + F_l (L+l_l) - F_{pt} l_{pt}}{L} \quad (2.9)[30]$$

C.) Lateral Bending

Lateral bending biasanya diakibatkan oleh gaya *sentrifugal* yang terjadi saat melewati jalan menikung. Gaya *lateral* cenderung membuat mobil keluar dari sudut jalur. Ketika menikung, ban mobil mengikuti dari bentuk jalan, sehingga menimbulkan *torsi* yang dapat mentransfer beberapa beban dari bagian dalam ke bagian luar ban[5].



Gambar 2.45 Lateral bending yang terjadi pada chassis saat melewati jalan menikung[5]



Gambar 2.46 Distribusi beban lateral tampak atas[30]

Dimana :

F_{ypt} = Gaya yang diakibatkan oleh *powertrain* kearah sumbu y

F_{ypt} = Gaya yang diakibatkan oleh penumpang depan kearah sumbu y

F_{ypr} = Gaya yang diakibatkan oleh penumpang belakang kearah sumbu y

F_{yt} = Gaya yang diakibatkan barang yang ada pada bagasi kearah sumbu y

R_{zyf} = Gaya reaksi oleh roda bagian depan kearah sumbu y

R_{zyr} = Gaya reaksi oleh roda bagian belakang kearah sumbu y

Dapat dilihat pada Gambar 2.46 terdapat gaya-gaya yang menimbulkan momen rolling pada mobil. Persamaannya dapat diturunkan sebagai berikut :

$$M_R = F_{ypt}h_{pt} + F_{ypt}h_{pf} + F_{ypr}h_{pr} + F_{yt}h_{tl} \quad (2.10)[30]$$

Kemudian untuk kesetimbangan dari gaya reaksi vertikal dapat diturunkan persamaan sebagai berikut :

$$M_R = R_{ZYF}t_f + R_{ZYR}t_r \quad (2.11)[30]$$

Nilai R_{zyf} dan R_{zyr} tidak diketahui, pada umumnya diberikan rasio antara kedua nilai tersebut. Pada umumnya nilai kekakuan pada bagian depan lebih besar dari kekakuan pada bagian belakang (diasumsikan kekakuan *body uniform*), oleh karena itu momen pada mobil bagian depan pada umumnya dilambangkan dengan nM , dengan nilai n antara 0,5-0,7, seperti pada persamaan berikut :

Pada bagian depan

$$R_{ZYF} = nM_R/t_f \quad (2.12)[30]$$

Pada bagian belakang

$$R_{ZYR} = (1 - n)M_R/t_r \quad (2.13)[30]$$

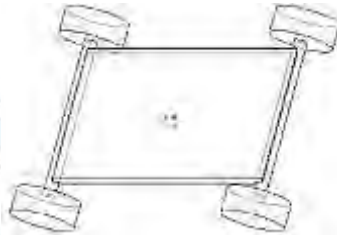
Dari gambar 2.46 dapat diturunkan juga persamaan sebagai berikut :

$$R_{YR} = \left\{ \frac{F_{ypr}(l_1+l_3)+F_{ypr}(l_1+l_4)+F_{ypl}(L+l_1)}{l} \right\} \quad (2.14)[30]$$

$$R_{YR} = \{F_{ypl} + F_{ypr} + F_{ypr}F_{yl}\} - R_{YR} \quad (2.15)[30]$$

D.) Horizontal *Lozenging*

Horizontal *Lozenging* terjadi akibat salah satu sisi kendaraan tidak memiliki *traksi* yang baik dari sisi lain. Sehingga fenomena yang terjadi adalah salah satu sisi tidak dapat mengatasi beban horizontal dengan baik dan menyebabkan penegangan pada chassis dan berdeformasi membentuk *jajar genjang*. Kasus ini biasanya terjadi saat pengereman yang dimana salah satu ban terkunci dan meluncur, sedangkan tiga ban lainnya terus bergulir. Biasanya horizontal *lozenging* kurang begitu diperhatikan saat mendesain chassis dibandingkan dengan *torsional bending* dan vertikal *bending*[5].



Gambar 2.47 Horizontal *Lozenge*[5]

2.12.2 Pembebanan Lokal

Pembebanan lokal adalah pembebanan yang terjadi dibagian sambungan antara chassis dan komponen - komponen mobil. Chassis akan menyerap semua beban baik dari suspensi, mesin, motor dan bagian lainnya. Sehingga perlu diperhatikan bagian sambungan antara suspensi, mesin, motor dan komponen lainnya yang menempel pada chassis, karena bagian tersebut terdapat gaya-gaya lokal yang bisa menjadi daerah kritis dari rancangan chassis[5].

2.13 Torsional Stiffness Mobil

Angka kekakuan dari masing-masing mobil berbeda-beda dan tidak ada standar yang membatasi akan nilai minimum dari kekakuan sebuah mobil. Hal tersebut dikarenakan pada masing-masing mobil memiliki dimensi, beban dan jenis material yang berbeda-beda.

Tabel 2.6 Hasil pengujian kekakuan *chassis* beberapa jenis mobil[42]

| No | Jenis Kendaraan | <i>Torsional Stiffness</i> (Nm/deg) |
|----|---------------------|--|
| 1 | Ford Mustang | 4.800 |
| 2 | Ferrari 360 Spider | 8.500 |
| 3 | Bugatti EB110 | 19.000 |
| 4 | BMW E46 Sedan | 18.000 |
| 5 | Jaguar X-type sedan | 22.000 |

| | | |
|----|----------------------|--------|
| 6 | Audi TT Coupe | 19.000 |
| 7 | Ford GT40 | 17.000 |
| 8 | Lotus Elise | 10.000 |
| 9 | Maserati QP | 18.000 |
| 10 | Porsce Carrera GT | 26.000 |
| 11 | Mercedes SL | 21.000 |
| 12 | Volvo | 18.600 |
| 13 | BMW E36 Touring | 10.900 |
| 14 | Opel Astra | 12.000 |
| 15 | Volkswagen Fox | 17.941 |
| 16 | Lamborghini Gallardo | 23.000 |
| 17 | Ferrari F50 | 34.000 |
| 18 | Rolls-royce phantom | 40.000 |
| 19 | Bugatti Veyron | 60.000 |



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

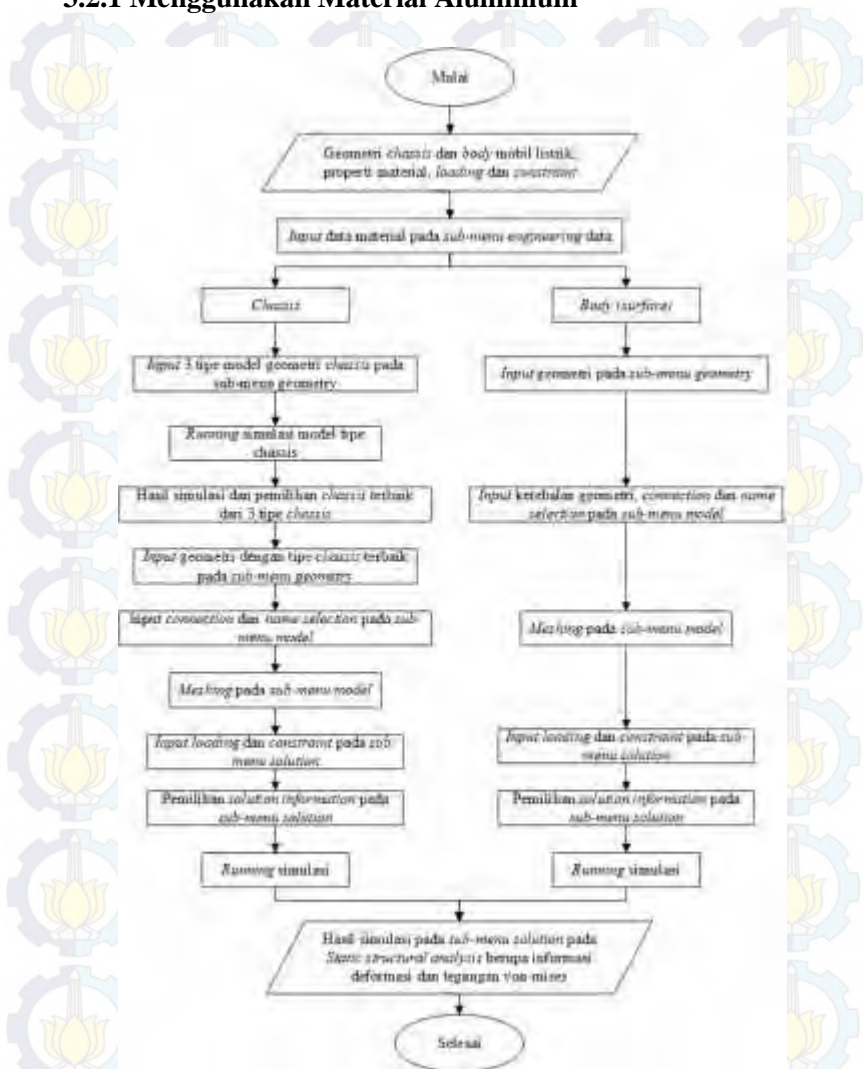
3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Skema diagram alir penelitian

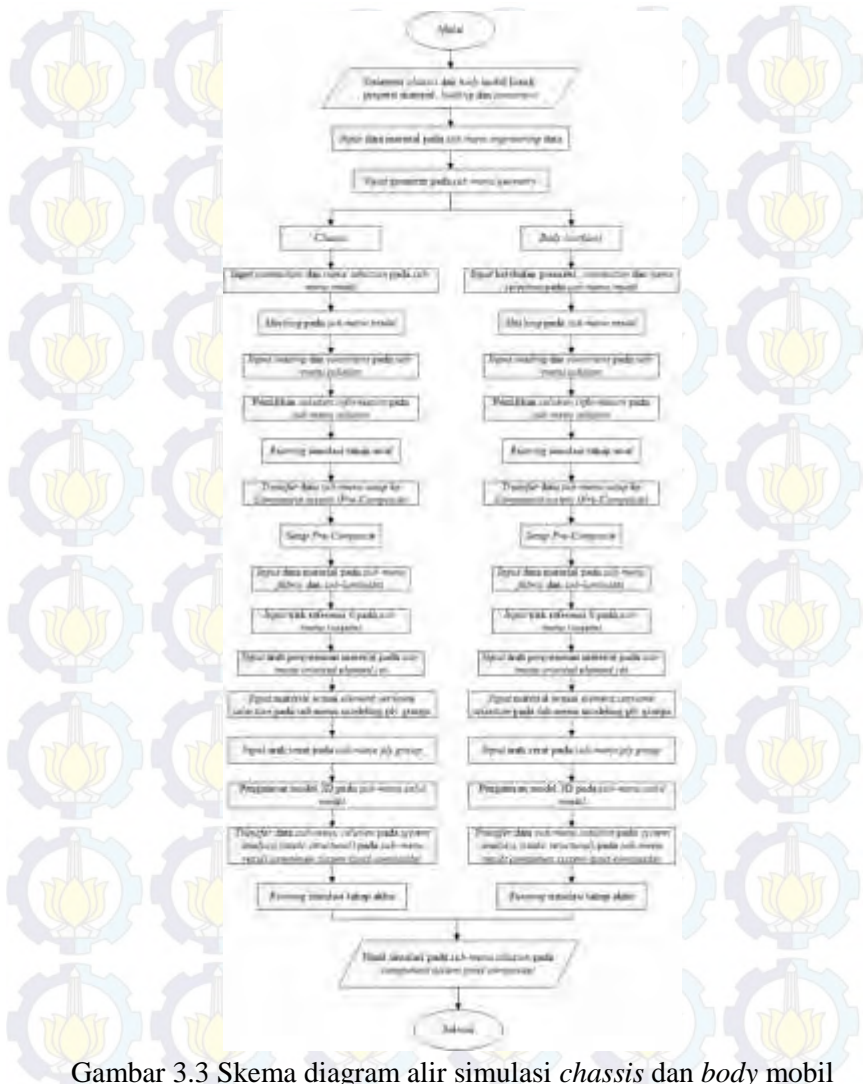
3.2 Diagram Alir Simulasi *Chassis* dan *Body* Mobil Listrik

3.2.1 Menggunakan Material Aluminium



Gambar 3.2 Skema diagram alir simulasi *chassis* dan *body* mobil listrik menggunakan material aluminium

3.2.2 Menggunakan Material *Carbon Fiber Sandwich*



3.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengetahui dasar teori mengenai informasi yang berkaitan dengan penelitian. Dasar teori berkaitan dengan :

1. Aluminium

Dasar teori mengenai aluminium, kelebihan dibandingkan material lain yang biasa digunakan sebagai *chassis* maupun *body* kendaraan serta penjelasan secara detail untuk aspek tertentu yang berkaitan dengan penelitian.

2. Komposit

Dasar teori mengenai definisi komposit, komponen-komponen penyusunnya yaitu matriks, penguat dan material inti serta penjelasan secara detail untuk aspek tertentu yang berkaitan dengan penelitian.

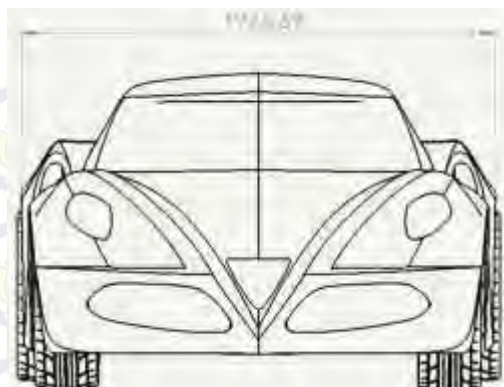
3. Chassis

Penjelasan mengenai jenis-jenis chassis dan jenis-jenis pembebanan yang terjadi pada mobil.

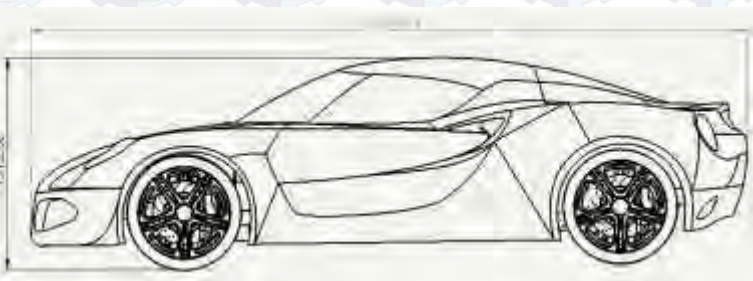
Kajian pustaka berisi penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang berkaitan dengan *chassis* kendaraan. Khususnya pengujian untuk meninjau kemampuan material *chassis* kendaraan berbahan komposit dengan variasi tebal material inti dan variasi *layer* pada *skin* untuk menerima beban *bending* jika dibandingkan dengan material lain yang sudah ada.

3.4 Desain Mobil Listrik

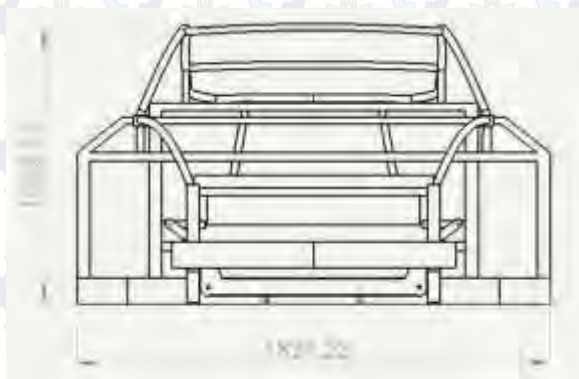
Desain mobil listrik yang digunakan mengadopsi dari desain mobil sport yang sudah ada sebelumnya dipasaran. Dengan konsep mobil listrik sport berkapasitas dua penumpang. Dimensi mobil listrik memiliki panjang 4444 mm, lebar 1977 mm, tinggi 1313 mm, lebar track 1595 mm/1622 mm dan panjang *wheelbase* 2724 mm. *Chassis* yang digunakan menggunakan chassis jenis *ladder chassis* yang dikombinasikan dengan *Tubular space frame chassis*. Desain *chassis* dan *body* menggunakan perbandingan material aluminium dan komposit *carbon fiber*.



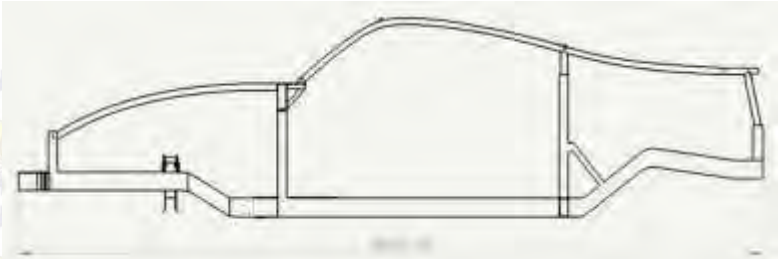
Gambar 3.4 Dimensi lebar mobil listrik



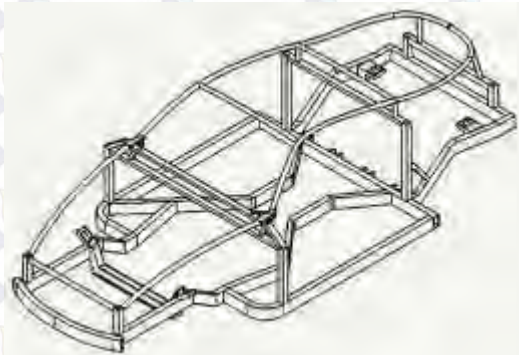
Gambar 3.5 Dimensi panjang dan tinggi mobil listrik



Gambar 3.6 Dimensi lebar dan tinggi *chassis* mobil listrik



Gambar 3.7 Dimensi panjang *chassis* mobil listrik



Gambar 3.8 Tampak isometrik *chassis* mobil listrik



Gambar 3.9 Gambar utuh mobil listrik beserta komponennya

3.5 Material Mobil Listrik

Material yang digunakan untuk pembuatan *chassis* dan *body* mobil listrik adalah menggunakan perbandingan material antara material aluminium dan komposit *carbon fiber*. Untuk pembuatan dengan menggunakan material komposit *carbon fiber*, *epoxy* resin sebagai *matriks*, *fiber carbon woven prepreg* sebagai *skin* dan aluminium *honeycomb* sebagai material inti (*core*). Berikut properti dari material untuk membuat *chassis* dan *body* mobil listrik:

Tabel 3.1 Properti Aluminium Alloy EN AW-6060-T4[21;33]

| | |
|--|------------|
| Density (g/cc) | 2.70 |
| Elastic Modulus (Gpa) | 70 |
| Bulk Modulus (Gpa) | 69.6 |
| Shear Modulus (Gpa) | 26.6 |
| Poisson's Ratio | 0.33 |
| Coefficient Thermal Expansion ($\mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$) | 23.4 |
| Melting Point ($^{\circ}\text{C}$) | 585-650 |
| Thermal Conductivity (W/m-K) | 200-220 |
| Specific Heat (J/kg- $^{\circ}\text{C}$) | 0.880 |
| Electrical Resistivity (ohm-cm) | 0.00000500 |
| Tensile Strength (Mpa) | 120 |
| Yield strength (Mpa) | 60 |
| Percent Elongation (%) | 16 |
| Hardness (Brinell) | 45 |

Tabel 3.2 Properti Aluminium Alloy EN AW-6082-T6[21;33]

| | |
|--|---------|
| Density (g/cc) | 2.70 |
| Elastic Modulus (Gpa) | 70 |
| Bulk Modulus (Gpa) | 69.6 |
| Shear Modulus (Gpa) | 26.6 |
| Poisson's Ratio | 0.33 |
| Coefficient Thermal Expansion ($\mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$) | 23.4 |
| Melting Point ($^{\circ}\text{C}$) | 585-650 |

| | |
|---------------------------------|------------|
| Thermal Conductivity (W/m-K) | 170-220 |
| Specific Heat (J/kg- °C) | 0.880 |
| Electrical Resistivity (ohm-cm) | 0.00000500 |
| Tensile Strength (Mpa) | 290 |
| Yield strength (Mpa) | 250 |
| Percent Elongation (%) | 14 |
| Hardness (Brinell) | 65 |

Tabel 3.3 Properti *epoxy carbon woven prepreg*[33]

| | | |
|-----------------------------|-------|-------------------|
| Density | 1451 | Kg/m ³ |
| Young's Modulus X Direction | 59160 | Mpa |
| Young's Modulus Y Direction | 59160 | Mpa |
| Young's Modulus Z Direction | 7500 | Mpa |
| Poisson's Ratio XY | 0,04 | |
| Poisson's Ratio YZ | 0,3 | |
| Poisson's Ratio XZ | 0,3 | |
| Shear Modulus XY | 17500 | Mpa |
| Shear Modulus YZ | 2700 | Mpa |
| Shear Modulus XZ | 2700 | Mpa |
| Tensile X Direction | 513 | Mpa |
| Tensile Y Direction | 513 | Mpa |
| Tensile Z Direction | 50 | Mpa |
| Compressive X Direction | -437 | Mpa |
| Compressive Y Direction | -437 | Mpa |
| Compressive Z Direction | -150 | Mpa |
| Shear XY | 120 | Mpa |
| Shear YZ | 55 | Mpa |
| Shear XZ | 55 | Mpa |

Tabel 3.4 Properti aluminium *honeycomb* 10 mm[29;33]

| | | |
|-----------------------------|------|-------------------|
| Density | 83,3 | Kg/m ³ |
| Young's Modulus X Direction | 18,9 | Mpa |
| Young's Modulus Y Direction | 18,9 | Mpa |
| Young's Modulus Z Direction | 1890 | Mpa |

| | | |
|-------------------------|---------|-----|
| Poisson's Ratio XY | 0,065 | |
| Poisson's Ratio YZ | 0,065 | |
| Poisson's Ratio XZ | 0,01 | |
| Shear Modulus XY | 2,96 | Mpa |
| Shear Modulus YZ | 369 | Mpa |
| Shear Modulus XZ | 217 | Mpa |
| Tensile X Direction | 0 | Mpa |
| Tensile Y Direction | 0 | Mpa |
| Tensile Z Direction | 4,5161 | Mpa |
| Compressive X Direction | 0 | Mpa |
| Compressive Y Direction | 0 | Mpa |
| Compressive Z Direction | -4,5161 | Mpa |
| Shear XY | 0 | Mpa |
| Shear YZ | 2,4821 | Mpa |
| Shear XZ | 1,4479 | Mpa |

Tabel 3.5 Properti *lantorsoric XF*[38]

| | | |
|---------------------------|-----|-------------------|
| Density | 600 | Kg/m ³ |
| Young's Modulus | 91 | Mpa |
| Poisson's Ratio | 0,3 | |
| Tensile Ultimate Strength | 4 | Mpa |

Tabel 3.6 Properti *polycarbonate*[39]

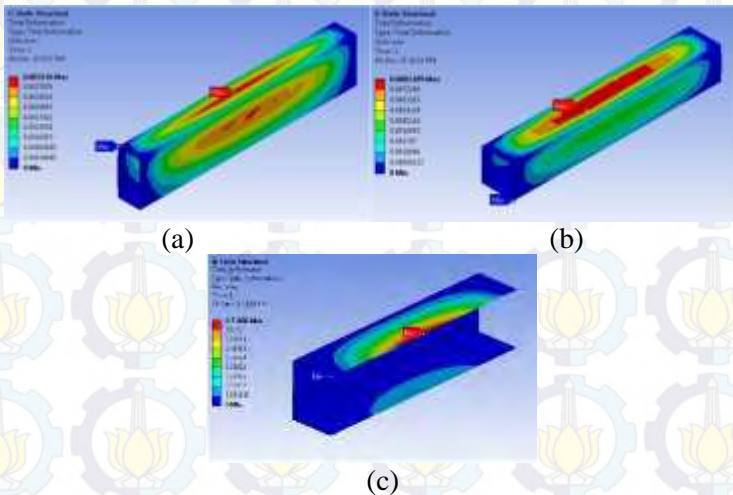
| | | |
|---------------------------|------|-------------------|
| Density | 1210 | Kg/m ³ |
| Young's Modulus | 2400 | Mpa |
| Poisson's Ratio | 0,37 | |
| Tensile Yield Strength | 65 | Mpa |
| Tensile Ultimate Strength | 72,4 | Mpa |

3.6 Simulasi Model Geometry dan Ketebalan *Sandwich Panels*

3.6.1 Simulasi Penentuan Bentuk Model Geometry *Chassis*

Pada proses pembuatan model *chassis*, sebelumnya dilakukan pemodelan bentuk profil *chassis* untuk mendapatkan profil *chassis* yang paling baik dalam menerima deformasi dan

tegangan. Berikut tiga bentuk profil dari model chassis yang disimulasikan ketika menerima beban vertikal:



Gambar 3.10 Profil chassis ketika menerima vertikal bending (a) Rectangular (b) Square (c) U-Channel

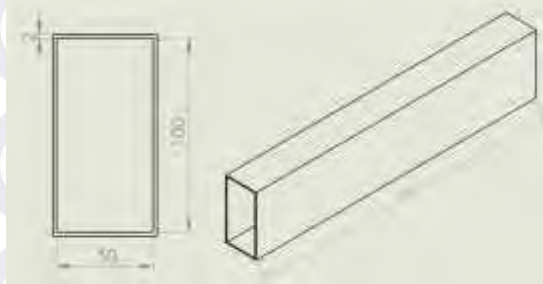
Dari simulasi yang telah dilakukan mengenai bentuk profil yang paling baik dengan kondisi berat model yang sama yaitu 0,8 kg serta beban *bending* dan beban *torsi* yang sama dari ketiga bentuk profil chassis maka dipilihlah bentuk profil *rectangular*, karena mampu menerima *deformasi* dan tegangan paling baik dari ketiga profil chassis diatas.

Tabel 3.7 Hasil simulasi model profil chassis

| Model Chasis | Dimensi (l x b) (mm) | Tebal (mm) | Statis Structural | | | | | |
|-------------------|-------------------------|---------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|
| | | | Vertikal bending | | Torsional bending (depan) | | Torsional bending (belakang) | |
| | | | Deformasi Total (mm) | Tegangan von mises (Mpa) | Deformasi Total (mm) | Tegangan von mises (Mpa) | Deformasi Total (mm) | Tegangan von mises (Mpa) |
| Rectangular Tube* | 500 x 90 x 100 | 2 | 0,003116 | 0,46529 | 0,00378548 | 0,09544 | 0,010942 | 0,96023 |
| Square Tube* | 500 x 75 x 75 | 2 | 0,0031209 | 0,76634 | 0,012319 | 0,75126 | 0,017456 | 1,0681 |
| U-Channel* | 500 x 95 x 120 | 2 | 0,1809 | 7,9476 | 0,47287 | 5,8044 | 0,67199 | 8,1323 |

*Sumber: Standard Profiles COSMOS Aluminium[34]

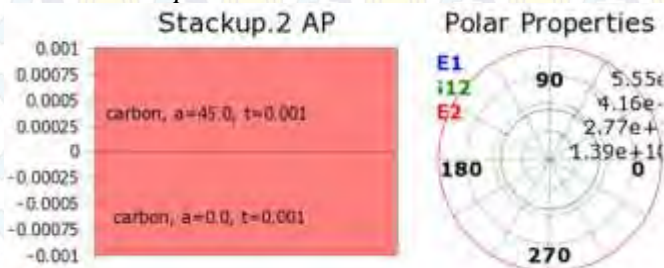
Beban: -Bending : 100 N
 -Torsi : 50 N(depan); 70 N(belakang)



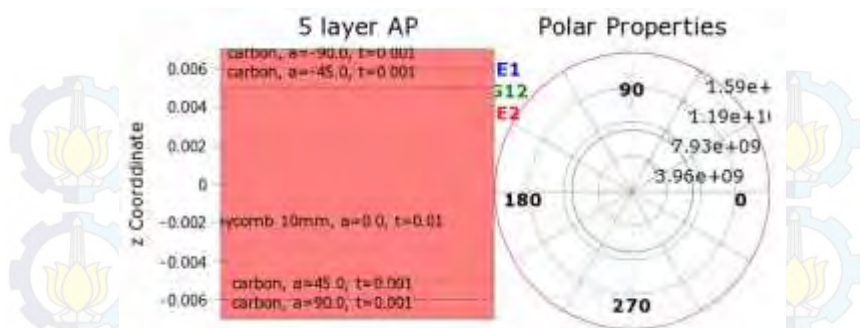
Gambar 3.11 Profil *chassis rectangular tube* kendaraan

3.6.2 Simulasi Arah dan Ketebalan *Sandwich Panels & Laminate*

Untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam penggunaan komposit *sandwich*, peletakan arah lamina merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kemampuan material komposit. Simulasi pengujian dilakukan dengan software *finite element*. Simulasi menggunakan analisa *Static Structural (ACP)* untuk komposit. Material yang dipakai adalah *carbon fiber woven prepreg* sebagai skin dan *aluminium honeycomb* sebagai inti (*core*). Variasi arah lamina yang diterapkan adalah 0° , 45° , -45° , 90° dalam 1 *stackup*.



Gambar 3.12 Contoh model susunan arah dan ketebalan dengan 2 lamina dalam 1 *stackup* pada desain *body* kendaraan material komposit



Gambar 3.13 Contoh model susunan arah dan ketebalan dengan 4 lamina & 1 core dalam 1 *stackup* pada desain *chassis* kendaraan material komposit

3.7 Perhitungan Pembebanan

3.7.1 Beban Vertikal

Beban vertikal dipengaruhi oleh massa yang bekerja pada *body* dan *chassis* mobil listrik, diantaranya yaitu:

Tabel 3.8 Pembebanan vertikal pada *body*

| No | Nama Beban | Massa(kg) | Berat(N) |
|--------------|--|--------------|-------------|
| 1 | Kaca mobil | 40.3 | 403 |
| 2 | Aksesoris <i>Body</i> (peredam, plafon, dll) | 50 | 500 |
| 3 | Kabin (dashboard, doortrim, kursi) | 20 | 200 |
| Total | | 110.3 | 1103 |

Tabel 3.9 Pembebanan vertikal pada *chassis*

| No | Nama Beban | Massa(kg) | Berat(N) |
|----|--------------------|-----------|----------|
| 1 | Body | 152 | 1520 |
| 2 | Motor | 100 | 1000 |
| 3 | Baterai | 120 | 1200 |
| 4 | Penumpang & driver | 2x100 | 2000 |

3.7.2 Beban Lateral

Beban lateral pada simulasi ini adalah beban saat kendaraan berbelok, diasumsikan kendaraan berbelok ke kanan dengan kecepatan 30 km/jam atau 8,33 m/s dengan radius belok 5,6 m. Beban yang terjadi saat belok adalah beban vertikal dan beban inersia.

$$\text{Beban Inersia} = m \frac{v^2}{R} \quad (3.2)$$

Dimana m merupakan massa, v adalah kecepatan saat berbelok dan R adalah radius belok.

Tabel 3.10 Pembebanan akibat belok pada *body*

| No. | Nama Beban | Massa (Kg) | Beban Vertikal (N) | Beban Inersia (N) |
|-----|---|------------|--------------------|-------------------|
| 1 | Kaca mobil | 40.3 | 403 | 575,7 |
| 2 | Aksesoris <i>Body</i> (peredam, plafon, dll) | 50 | 500 | 714,3 |
| 3 | Kabin (dashboard, doortrim, kursi) | 20 | 200 | 285,7 |

Tabel 3.11 Pembebanan akibat belok pada *chassis*

| No. | Nama Beban | Massa (Kg) | Beban Vertikal (N) | Beban Inersia (N) |
|-----|-------------------|------------|--------------------|-------------------|
| 1 | Body | 152 | 1520 | 2149,6 |
| 2 | Motor | 100 | 1000 | 1414,2 |
| 3 | Baterai | 120 | 1200 | 2828,4 |
| 4 | Penumpang&driver | 2x100 | 2000 | 1697,1 |
| 5 | <i>Drivetrain</i> | 50 | 500 | 707,11 |



Gambar 3.16 Distribusi beban lateral pada *body*



Gambar 3.17 Distribusi beban lateral pada *chassis*

3.7.3 Beban Torsional

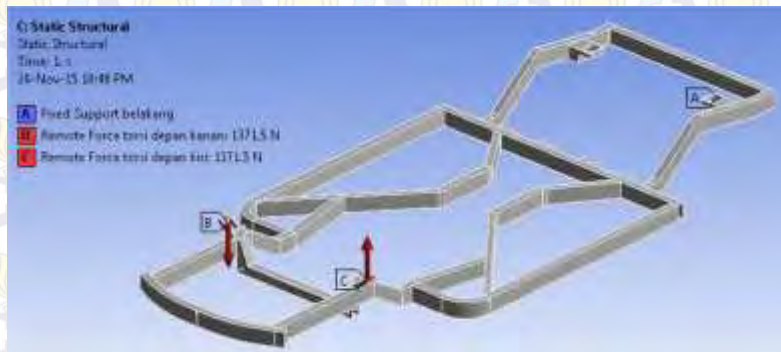
Pengujian dengan beban ini dilakukan untuk menguji kekakuan dari *chassis*. *Torsi* yang diberikan bernilai :

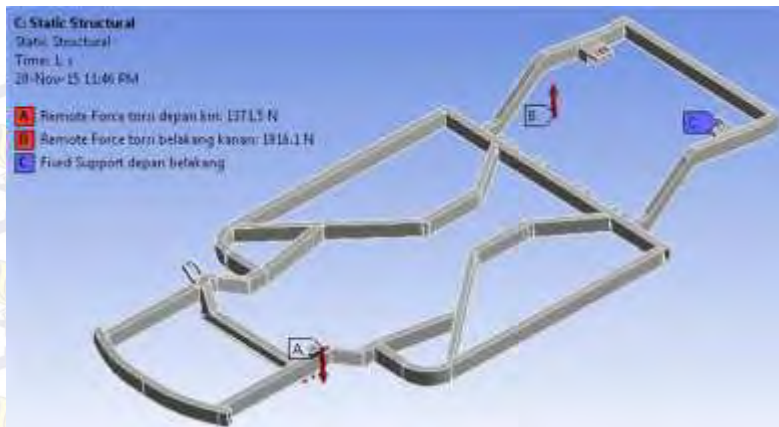
$$T = Fxd \quad (3.3)$$

T merupakan *torsi* dan F merupakan gaya yang bekerja pada suspensi depan atau belakang serta pada bagian samping kanan atau samping kiri dengan nilai $0,2.W_{sprung}$ hingga $1.W_{sprung}$. Sedangkan d merupakan jarak tumpuan suspensi kiri atau kanan terhadap titik tengah *chassis* pada suspensi depan maupun belakang.

Tabel 3.12 Pembebanan pada uji *torsional bending*

| No. | Beban ($\times W_{\text{sprung}}$) (N) |
|-----|--|
| 1 | 0.2 |
| 2 | 0.4 |
| 3 | 0.6 |
| 4 | 0.8 |
| 5 | 1 |

Gambar 3.18 Distribusi beban torsional depan pada *chassis*Gambar 3.19 Distribusi beban torsional belakang pada *chassis*



Gambar 3.20 Distribusi beban torsional depan dan belakang pada *chassis*

3.8 Simulasi *Chassis* dan *Body* Mobil Listrik

Simulasi pengujian dilakukan dengan *software finite element*. Simulasi menggunakan analisa *static structural* untuk material aluminium dan *static structural ACP*(*composite*) untuk material komposit. Untuk material komposit yang dipakai adalah *epoxy resin* dengan penguat *carbon fibre* dengan penambahan material inti berupa *aluminium honeycomb*. *Boundary condition* dan *loading condition* yang diterapkan dalam simulasi ini adalah sebagai berikut :

Tabel 3.13 *Boundary condition* dan *loading condition* pada desain *body* dan *chassis* Mobil Listrik

| No | Test | <i>Boundary Condition</i> | <i>Loading Condition</i> |
|----|-------------------------|---|--|
| 1 | <i>Vertikal Bending</i> | Fix support-suspensi depan dan belakang | Gaya kearah bawah pada penempatan masing-masing beban |
| 2 | <i>Lateral Bending</i> | Fix support-suspensi depan dan belakang | Gaya kearah bawah dan ke samping pada penempatan masing- |

| | | | masing beban |
|---|----------------------------|---|---|
| 2 | <i>Torsional Bending 1</i> | Fix support-suspensi belakang | 2 gaya berlawanan arah pada suspensi depan |
| 3 | <i>Torsional Bending 2</i> | Fix support-suspensi depan | 2 gaya berlawanan arah pada suspensi belakang |
| 4 | <i>Torsional Bending 3</i> | Fix support-suspensi depan kanan dan suspensi belakang kiri | Gaya suspensi depan kiri keatas dan gaya suspensi belakang kakan keatas |

Simulasi terdiri dari beberapa tahap yaitu :

1.) Proses penentuan geometri *chassis* dan *body*

Geometri *chassis* dan *body* yang telah di desain menggunakan *software* 3D-CAD diimport ke dalam *software finite element*. Untuk kasus simulasi komposit dengan *fiber carbon* sebagai penguat ditambah dengan *core*, geometri harus dalam bentuk *surface* untuk proses penyusunan material komposit.

2.) Proses *Modelling*

Proses ini terdiri dari pengaturan material yang digunakan, ketebalan geometri, *meshing*, *connections* dan pengaturan kondisi yang diinginkan. Pengaturan kondisi untuk *static structural* dilakukan dengan menentukan daerah *fix support* dan memberikan pembebanan yang diinginkan berupa nilai gaya dan arah pembebanan. Dari pengaturan ini berat dari model *chassis* dan *body* juga akan diketahui.



Gambar 3.21 *Meshing* pada *body* dan *chassis* Mobil Listrik

3.) Proses Pengaturan *Input* Material

Proses ini terdiri dari memasukkan data properti material, mengatur ketebalan dan arah *lamina*, mengatur jumlah layer dan arah pada *laminata*, mengatur susunan *sandwich panels* dan terakhir memodelkannya dalam bentuk 3D (untuk kasus simulasi komposit). Proses *input* material dilakukan pada *layout* berikut:



Gambar 3.22 *Layout* pada *body surface*



Gambar 3.23 *Layout* pada *chassis*

4.) Proses *Running* dan Hasil Simulasi.

Proses pemilihan data yang akan dihasilkan untuk simulasi ini dipilih tegangan maksimal yang terjadi (*Von Mises Equivalent Stress*), deformasi total, deformasi arah horizontal dan *safety factor*. Dan pada material komposit ditambahkan hasil simulasi berupa *shear stress* dan *Tsai-Hill Failure*. Proses simulasi dilakukan dengan melakukan *solve* untuk pengkondisian yang sudah ditetapkan. Dibawah ini adalah skema dari simulasi *static structural* untuk material aluminium dan material komposit *carbon fiber sandwich*.



Gambar 3.24 Skema simulasi *static structural* untuk Aluminium



Gambar 3.25 Skema simulasi *ACP static structural* untuk Komposit

3.9 Analisa Data

Dari hasil simulasi berupa distribusi tegangan dan nilai deformasi total yang akan dianalisa apakah nilai tegangan berada dibawah tegangan *yield*-nya (aman digunakan). Analisa dilakukan dengan melihat daerah kritis pada saat deformasi maksimal dan tegangan maksimal serta berat yang dihasilkan. Rumus

perhitungan *torsional stiffness* berdasarkan persamaan (2.7) pada buku penelitian *Analysis of Composite Chassis* oleh Eurenus, C.A. dkk pada tahun 2013[5], adalah sebagai berikut:

$$K = \frac{\text{Torque [Nm]}}{\text{Angle of torsion [degrees]}} = \frac{FL}{\frac{\tan^{-1}(\Delta z_1 + \Delta z_2)}{2L}} \quad (3.3)[5]$$

Dimana :

- F = Vertical Force (N)
- L = Track Width (m)
- K = Torsional Stiffness (Nm/deg)
- Δ_{z1} = Defleksi vertikal kanan
- Δ_{z2} = Defleksi vertikal kiri



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Spesifikasi *Body* dan *Chassis* Kendaraan

Tabel 4.1 Rincian Berat *Body* Aluminium Kendaraan Dengan Variasi Ketebalan

| Material | Density(kg/m ³) | Volume(m ³) | Tebal(m) | SF | Berat(kg) |
|--------------|-----------------------------|-------------------------|----------|---------|-----------|
| EN AW-6060T4 | 2700 | 0.011729 | 0.00053 | 0.76962 | 31.669 |
| EN AW-6060T4 | 2700 | 0.013262 | 0.00065 | 1.0651 | 35.806 |
| EN AW-6060T4 | 2700 | 0.015177 | 0.0008 | 1.5194 | 40.978 |
| EN AW-6060T4 | 2700 | 0.016837 | 0.00093 | 1.9978 | 45.46 |
| EN AW-6060T4 | 2700 | 0.017731 | 0.001 | 2.2889 | 47.874 |
| EN AW-6060T4 | 2700 | 0.024116 | 0.0015 | 5.0731 | 65.113 |
| EN AW-6060T4 | 2700 | 0.030501 | 0.002 | 6.0041 | 82.353 |

Ket: Desain *body* yang dipilih

Tabel 4.2 Rincian Berat *Body* Komposit Sandwich Kendaraan Dengan Variasi Jumlah Layer dan Ketebalan

| Material | Density (kg/m ³) | Volume(m ³) | Jumlah Layer | Tebal(m) | Berat(kg) |
|------------------------------------|------------------------------|-------------------------|--------------|----------|-----------|
| Carbon Fiber-Epoxy | 1451 | 0.013868 | 1 | 0.001 | 19.693 |
| Carbon Fiber-Epoxy | 1451 | 0.027737 | 2 | 0.002 | 39.386 |
| Carbon Fiber-Epoxy | 1451 | 0.041605 | 3 | 0.003 | 59.079 |
| Carbon Fiber-Epoxy dan Lantorsoric | 1451 dan 600 | 0.055474 | 3 | 0.004 | 56.048 |

Ket: Desain *body* yang dipilih

Tabel 4.3 Rincian Berat *Chassis* Aluminium Kendaraan Dengan Variasi Temper Material

| Material | Density(kg/m ³) | Volume(m ³) | Tebal(m) | SF | Berat(kg) |
|--------------|-----------------------------|-------------------------|----------|------|-----------|
| EN AW-6082T4 | 2700 | 0.014146 | 0.002 | 1.08 | 38.194 |
| EN AW-6082T6 | 2700 | 0.014146 | 0.002 | 2.37 | 38.194 |

Ket: Desain *chassis* yang dipilih

Tabel 4.4 Rincian Berat *Chassis* Komposit *Sandwich* Kendaraan Dengan Variasi Jumlah Layer

| Material | Density(kg/m ³) | Jumlah Layer | Jumlah Core | Tebal Core(m) | Tebal Total(m) | Berat(kg) |
|---------------------------------|-----------------------------|--------------|-------------|---------------|----------------|-----------|
| Carbon Fiber+Epoxy+Al Honeycomb | 1451+83,3 | 3 | 1 | 0.010 | 0.012 | 19.8042 |
| Carbon Fiber+Epoxy+Al Honeycomb | 1451+83,3 | 5 | 1 | 0.010 | 0.014 | 35.117 |
| Carbon Fiber+Epoxy+Al Honeycomb | 1451+83,3 | 5 | 1 | 0.002 | 0.006 | 31.52387 |
| Carbon Fiber+Epoxy+Al Honeycomb | 1451+83,3 | 7 | 1 | 0.002 | 0.008 | 46.83667 |
| Carbon Fiber+Epoxy+Al Honeycomb | 1451+83,3 | 7 | 2 | 0.002 | 0.009 | 40.07854 |
| Carbon Fiber+Epoxy+Al Honeycomb | 1451+83,3 | 7 | 1 | 0.010 | 0.016 | 50.4298 |

Ket:  Desain chassis yang dipilih

Tabel 4.5 Berat Total Desain *Body* Aluminium Kendaraan

| Material | Density(kg/m ³) | Volume(m ³) | Tebal(m) | SF | Berat(kg) |
|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------|--------|----------------|
| EN AW-6060T4 | 2700 | 0.016837 | 0.00093 | 1.9978 | 45.46 |
| Kaca Mobil | 2579 | 0.015642 | 0.005 | - | 40.345 |
| Aksesoris Body(peredam, plafon, dll) | - | - | - | - | 50 |
| Kabin (dashboard, doortrim, kursi) | - | - | - | - | 20 |
| TOTAL | | | | | 155.805 |

Tabel 4.6 Berat Total Desain *Body* Komposit *Sandwich* Kendaraan

| Material | Density(kg/m ³) | Volume(m ³) | Tebal(m) | Berat(kg) |
|--|-----------------------------|-------------------------|----------|----------------|
| Carbon Fiber+Epoxy | 1451 | 0.027737 | 0.002 | 39.386 |
| Kaca Mobil | 2579 | 0.015642 | 0.005 | 40.345 |
| Aksesoris <i>Body</i> (peredam, plafon, dll) | - | - | - | 50 |
| Kabin (dashboard, doortrim, kursi) | - | - | - | 20 |
| TOTAL | | | | 149.713 |

Tabel 4.7 Berat Total Desain *Chassis* Aluminium Kendaraan

| Material | Density(kg/m ³) | Volume(m ³) | Tebal(m) | SF | Berat(kg) |
|--------------|-----------------------------|-------------------------|----------|--------|---------------|
| EN AW 6082T6 | 2700 | 0.014146 | 0.002 | 2.3738 | 38.194 |
| TOTAL | | | | | 38.194 |

Tabel 4.8 Berat Total Desain *Chassis* Komposit *Sandwich* Kendaraan

| Material | Density(kg/m ³) | Jumlah Layer | Jumlah Core | Tebal Core(m) | Tebal Total(m) | Berat(kg) |
|----------------------------------|-----------------------------|--------------|-------------|---------------|----------------|---------------|
| Carbon Fiber+Epoxy+ Al Honeycomb | 1451+83,3 | 5 | 1 | 0.010 | 0.014 | 35.117 |
| TOTAL | | | | | | 35.117 |

Tabel 4.9 Berat Total Desain *Body* dan *Chassis* Aluminium Kendaraan


| Material | Berat <i>Body</i> (kg) | Berat <i>Chassis</i> (kg) | Berat Total(kg) |
|-------------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------|
| EN AW-6060T4/ EN AW 6082T6 | 155.805 | 38.194 | 193.999 |

Tabel 4.10 Berat Total Desain *Body* dan *Chassis* Komposit *Sandwich* Kendaraan

| Material | Berat <i>Body</i> (kg) | Berat <i>Chassis</i> (kg) | Berat Total(kg) |
|---------------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------|
| Carbon Fiber+Epoxy-Al Honeycomb | 149.713 | 35.117 | 184.83 |


Tabel 4.11 Nilai Tegangan *Von-Misses* Maksimal dan Deformasi Maksimal Pada *Body* untuk Vertikal Bending

| Material | Tebal (mm) | SF | Tegangan Von-Misses Maksimal (Mpa) | Deformasi Maksimal (mm) |
|---------------------|------------|--------|------------------------------------|-------------------------|
| EN AW-6060T4 | 0.53 | 0.7696 | 77.961 | 24.998 |
| EN AW-6060T4 | 0.65 | 1.0651 | 56.332 | 16.875 |
| EN AW-6060T4 | 0.8 | 1.5194 | 39.49 | 11.499 |
| EN AW-6060T4 | 0.93 | 1.9978 | 30.034 | 8.7911 |
| EN AW-6060T4 | 1 | 2.2889 | 26.213 | 7.7428 |
| EN AW-6060T4 | 1.5 | 5.0731 | 11.827 | 4.1431 |
| EN AW-6060T4 | 2 | 6.0041 | 9.9931 | 2.7701 |
| Sandwich(1 layer) | 1 | - | 92.972 | 36.457 |
| Sandwich(2 layer) | 2 | - | 25.613 | 7.1361 |
| Sandwich(3 layer) | 3 | - | 15.155 | 3.1029 |
| (2 layer+isotropic) | 4 | - | 23.379 | 2.9842 |

Ket :  Desain body yang dipilih


Tabel 4.12 Nilai Tegangan *Von-Misses* Maksimal dan Deformasi Maksimal Pada *Chassis* untuk Vertikal Bending

| Material | Tebal (mm) | SF | Tegangan Von-Misses Maksimal (Mpa) | Deformasi Maksimal (mm) |
|---------------------|------------|--------|------------------------------------|-------------------------|
| EN AW-6082T4 | 2 | 1.08 | 101.86 | 2.6836 |
| EN AW-6082T6 | 2 | 2.3738 | 101.86 | 2.6836 |
| Sandwich(3 layer) | 12 | - | 74.928 | 4.4142 |
| Sandwich(3 layer) | 14 | - | 59.508 | 2.3990 |
| (5 layer,core 2mm) | 6 | - | 84.679 | 4.1784 |
| (7 layer,core 2mm) | 8 | - | 45.32 | 2.5146 |
| (7 layer,2core,4mm) | 9 | - | 48.8 | 2.7699 |
| Sandwich(7 layer) | 16 | - | 27.99 | 1.7780 |
| (8 layer,2core,4mm) | 10 | - | 56.06 | 2.3081 |

Ket :  Desain chassis yang dipilih

Tabel 4.13 Nilai Tegangan *Von-Misses* Maksimal dan Deformasi Maksimal Pada *Chassis* untuk *Lateral Bending*

| Material | Tebal (mm) | SF | Tegangan Von-Misses Maksimal (Mpa) | Deformasi Arah Horizontal (mm) |
|---------------------|------------|--------|------------------------------------|--------------------------------|
| EN AW-6082T4 | 2 | 1.0012 | 109.87 | 2.1093 |
| EN AW-6082T6 | 2 | 2.2755 | 109.87 | 2.1093 |
| Sandwich(3 layer) | 12 | - | 184.39 | 13.273 |
| Sandwich(5 layer) | 14 | - | 93.858 | 6.2078 |
| (5 layer;core 2mm) | 6 | - | 313.25 | 13.592 |
| (7 layer;core 2mm) | 8 | - | 158.91 | 7.1789 |
| (7 layer;2core.4mm) | 9 | - | 165.79 | 7.6953 |
| Sandwich(7 layer) | 16 | - | 58.84 | 4.2661 |
| (8 layer;2core.4mm) | 10 | - | 138.13 | 7.0161 |

Ket:  Desain *chassis* yang dipilih

Tabel 4.14 Nilai Tegangan *Von-Misses* Maksimal dan Deformasi Maksimal Pada *Chassis* untuk *Torsional Bending* Depan

| Material | Tebal (mm) | Berat (kg) | Tegangan Von-Misses Maksimal (Mpa) | Deformasi Maksimal (mm) |
|-------------------|------------|------------|------------------------------------|-------------------------|
| EN AW-6082T6 | 2 | 38.194 | 129.96 | 25.645 |
| Sandwich(5 layer) | 14 | 35.117 | 139.30 | 24.681 |

Tabel 4.15 Nilai Tegangan *Von-Misses* Maksimal dan Deformasi Maksimal Pada *Chassis* untuk *Torsional Bending* Belakang

| Material | Tebal (mm) | Berat (kg) | Tegangan Von-Misses Maksimal (Mpa) | Deformasi Maksimal (mm) |
|-------------------|------------|------------|------------------------------------|-------------------------|
| EN AW-6082T6 | 2 | 38.194 | 135.82 | 10.166 |
| Sandwich(5 layer) | 14 | 35.117 | 135.22 | 6.1309 |

Tabel 4.16 Nilai Tegangan *Von-Misses* Maksimal dan Deformasi Maksimal Pada *Chassis* untuk *Torsional Bending* Depan dan Belakang

| Material | Tebal (mm) | Berat (kg) | Tegangan Von-Misses Maksimal (Mpa) | Deformasi Maksimal (mm) |
|-------------------|------------|------------|------------------------------------|-------------------------|
| EN AW-6082T6 | 2 | 38.194 | 161.35 | 7.7499 |
| Sandwich(5 layer) | 14 | 35.117 | 117.71 | 6.3156 |

Tabel 4.17 Data *Torsional Stiffness* Pembebanan Depan Pada Material Aluminium EN AW-6082T6

| F (N) | L (m) | T (Nm) | $\Delta Z1(m)$ | $\Delta Z2(m)$ | Θ (deg) |
|--------|-------|----------|----------------|----------------|----------------|
| 274.3 | 1.595 | 437.5085 | 0.0050342 | 0.0050022 | 0.18 |
| 548.6 | 1.595 | 875.017 | 0.010068 | 0.010004 | 0.36 |
| 822.9 | 1.595 | 1312.526 | 0.015103 | 0.015007 | 0.54 |
| 1097.2 | 1.595 | 1750.034 | 0.020137 | 0.020009 | 0.72 |
| 1371.5 | 1.595 | 2187.543 | 0.025171 | 0.025011 | 0.90 |

Tabel 4.18 Data *Torsional Stiffness* Pembebanan Belakang Pada Material Aluminium EN AW-6082T6

| F (N) | L (m) | T (Nm) | $\Delta Z1(m)$ | $\Delta Z2(m)$ | Θ (deg) |
|---------|-------|----------|----------------|----------------|----------------|
| 363.22 | 1.595 | 579.3359 | 0.006251 | 0.0062411 | 0.22 |
| 726.44 | 1.595 | 1158.672 | 0.012502 | 0.012482 | 0.45 |
| 1089.66 | 1.595 | 1738.008 | 0.018753 | 0.018723 | 0.67 |
| 1452.88 | 1.595 | 2317.344 | 0.025004 | 0.024964 | 0.90 |
| 1816.1 | 1.595 | 2896.68 | 0.031255 | 0.031206 | 1.12 |

Tabel 4.19 Data *Torsional Stiffness* Pembebanan Depan dan Belakang Pada Material Aluminium EN AW-6082T6

| F1 (N) | F2 (N) | Fr (N) | L (m) | T (Nm) | $\Delta Z1(m)$ | $\Delta Z2(m)$ | Θ (deg) |
|--------|---------|---------|---------|-------------|----------------|----------------|----------------|
| 274.3 | 363.22 | 318.76 | 3.04889 | 971.8641764 | 0.0015358 | 0.0028259 | 0.04 |
| 548.6 | 726.44 | 637.52 | 3.04889 | 1943.728353 | 0.0030717 | 0.0056517 | 0.08 |
| 822.9 | 1089.66 | 956.28 | 3.04889 | 2915.592529 | 0.0046075 | 0.0084776 | 0.12 |
| 1097.2 | 1452.88 | 1275.04 | 3.04889 | 3887.456706 | 0.0061433 | 0.011303 | 0.16 |
| 1371.5 | 1816.1 | 1593.80 | 3.04889 | 4859.320882 | 0.0076791 | 0.014129 | 0.20 |

Tabel 4.20 Data *Torsional Stiffness* Pembebanan Depan Pada Komposit Carbon Sandwich Panels

| F (N) | L (m) | T (Nm) | $\Delta Z1(m)$ | $\Delta Z2(m)$ | Θ (deg) |
|--------|-------|----------|----------------|----------------|----------------|
| 274.3 | 1.595 | 437.5085 | 0.0024158 | 0.0041276 | 0.12 |
| 548.6 | 1.595 | 875.017 | 0.0048317 | 0.0082552 | 0.24 |
| 822.9 | 1.595 | 1312.526 | 0.0072475 | 0.012383 | 0.35 |
| 1097.2 | 1.595 | 1750.034 | 0.0096634 | 0.01651 | 0.47 |
| 1371.5 | 1.595 | 2187.543 | 0.012079 | 0.020638 | 0.59 |

Tabel 4.21 Data *Torsional Stiffness* Pembebanan Belakang Pada Komposit Carbon Sandwich Panels

| F (N) | L (m) | T (Nm) | $\Delta Z1(m)$ | $\Delta Z2(m)$ | Θ (deg) |
|---------|-------|----------|----------------|----------------|----------------|
| 363.22 | 1.595 | 579.3359 | 0.0042994 | 0.0041442 | 0.15 |
| 726.44 | 1.595 | 1158.672 | 0.0085987 | 0.0082855 | 0.30 |
| 1089.66 | 1.595 | 1738.008 | 0.012898 | 0.012433 | 0.45 |
| 1452.88 | 1.595 | 2317.344 | 0.017197 | 0.016577 | 0.61 |
| 1816.1 | 1.595 | 2896.68 | 0.021497 | 0.020721 | 0.76 |

Tabel 4.22 Data *Torsional Stiffness* Pembebanan Depan dan Belakang Pada Komposit Carbon Sandwich Panels

| F1 (N) | F2 (N) | Fr (N) | L (m) | T (Nm) | $\Delta Z1(m)$ | $\Delta Z2(m)$ | Θ (deg) |
|--------|---------|---------|---------|----------|----------------|----------------|----------------|
| 374.3 | 363.22 | 318.76 | 3.04889 | 971.864 | 0.00122 | 0.00081342 | 0.02 |
| 548.6 | 726.44 | 637.52 | 3.04889 | 1943.728 | 0.00244 | 0.0016268 | 0.04 |
| 822.9 | 1089.66 | 956.28 | 3.04889 | 2915.592 | 0.00366 | 0.0024403 | 0.06 |
| 1097.2 | 1452.88 | 1275.04 | 3.04889 | 3887.456 | 0.0048801 | 0.0032537 | 0.08 |
| 1371.5 | 1816.1 | 1593.8 | 3.04889 | 4859.320 | 0.0061001 | 0.0040671 | 0.10 |

Tabel 4.23 Nilai *Torsional Stiffness* Pembebanan Depan

| Parameter Pengali | Torsional Stiffness Aluminium EN AW-6082T6 (Nm/deg) | Torsional Stiffness Komposit Sandwich Panels (Nm/deg) |
|-------------------|---|---|
| 0.2 | 2427.23162 | 3722.52616 |
| 0.4 | 2427.50097 | 3722.84292 |
| 0.6 | 2427.72547 | 3723.05412 |
| 0.8 | 2428.34307 | 3723.63505 |
| 1 | 2429.09134 | 3723.98369 |

Tabel 4.24 Nilai *Torsional Stiffness* Pembebanan Belakang

| Parameter Pengali | Torsional Stiffness Aluminium EN AW-6082T6 (Nm/deg) | Torsional Stiffness Komposit Sandwich Panels (Nm/deg) |
|-------------------|---|---|
| 0.2 | 2582.28616 | 3820.21695 |
| 0.4 | 2582.63151 | 3820.59485 |
| 0.6 | 2583.28409 | 3820.88883 |
| 0.8 | 2584.21554 | 3821.60296 |
| 1 | 2585.37455 | 3822.3846 |

Tabel 4.25 Nilai *Torsional Stiffness* Pembebanan Depan dan Belakang

| Parameter Pengali | Torsional Stiffness Aluminium EN AW-6082T6 (Nm/deg) | Torsional Stiffness Komposit Sandwich Panels (Nm/deg) |
|-------------------|---|---|
| 0.2 | 23709.78718 | 50856.31483 |
| 0.4 | 23712.67967 | 50869.62452 |
| 0.6 | 23713.37287 | 50874.06263 |
| 0.8 | 23717.01974 | 50876.28197 |
| 1 | 23717.88794 | 50877.61367 |

Tabel 4.26 Nilai *Torsional Stiffness/Berat* Pembebanan Depan

| Parameter Pengali | Torsional Stiffness Aluminium EN AW-6082T6/Berat [Nm/(deg*Kg)] | Torsional Stiffness Komposit Sandwich Panels/Berat [Nm/(deg*Kg)] |
|-------------------|--|--|
| 0.2 | 12.51215 | 20.14027 |
| 0.4 | 12.51354 | 20.14198 |
| 0.6 | 12.51469 | 20.14313 |
| 0.8 | 12.51788 | 20.14627 |
| 1 | 12.52173 | 20.14816 |

Tabel 4.27 Nilai *Torsional Stiffness/Berat* Pembebanan Belakang

| Parameter Pengali | Torsional Stiffness Aluminium EN AW-6082T6/Berat [Nm/(deg*Kg)] | Torsional Stiffness Komposit Sandwich Panels/Berat [Nm/(deg*Kg)] |
|-------------------|--|--|
| 0.2 | 13.31144 | 20.66881 |
| 0.4 | 13.31322 | 20.67086 |
| 0.6 | 13.31658 | 20.67245 |
| 0.8 | 13.32139 | 20.67631 |
| 1 | 13.32736 | 20.68054 |

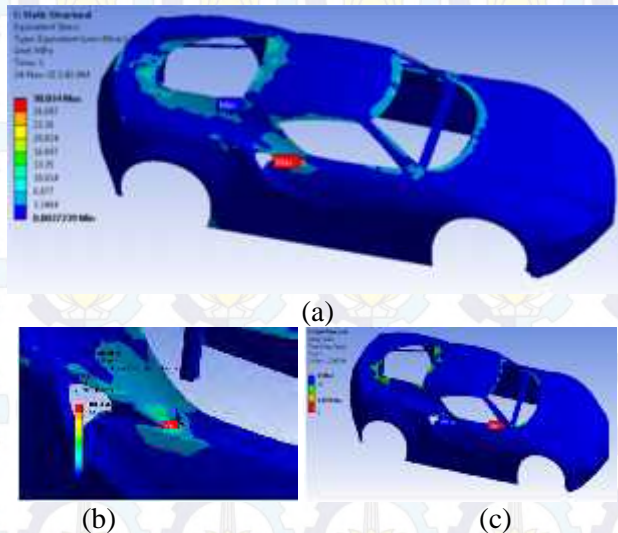
Tabel 4.28 Nilai *Torsional Stiffness/Berat* Pembebanan Depan dan Belakang

| Parameter Pengali | Torsional Stiffness Aluminium EN AW-6082T6/Berat [Nm/(deg*Kg)] | Torsional Stiffness Komposit Sandwich Panels/Berat [Nm/(deg*Kg)] |
|-------------------|--|--|
| 0.2 | 122.2217 | 275.1518 |
| 0.4 | 122.2366 | 275.2239 |
| 0.6 | 122.2515 | 275.2479 |
| 0.8 | 122.2590 | 275.2599 |
| 1 | 122.2635 | 275.2671 |

4.2 Analisa Gambar Hasil Simulasi *Vertikal Bending*

4.2.1 Analisa Gambar Tegangan *Von-Mises*

4.2.1.1 *Body* Aluminium EN AW-6060-T4 Kendaraan

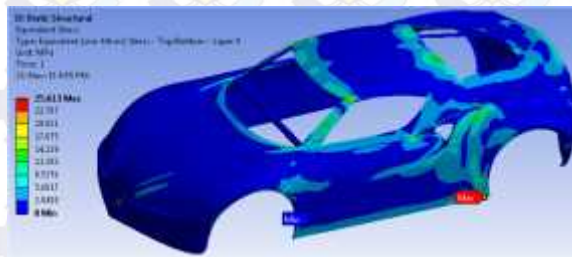


Gambar 4.1 Hasil simulasi tegangan pada *body* aluminium akibat *vetikal bending*, (a) Tegangan *Von-Mises*, (b) Detail Tegangan *Von-Mises*, (c) *Safety Factor*.

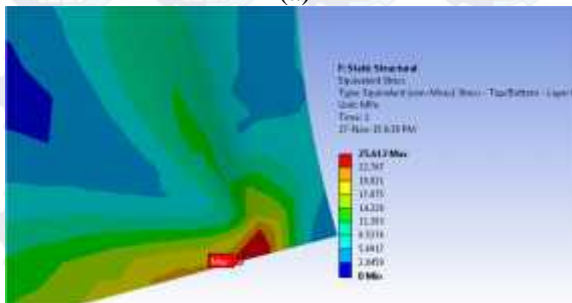
Dari hasil simulasi *vertikal bending* terhadap *body* kendaraan dengan material aluminium EN AW-6060-T4 yang memiliki ketebalan 0,93 mm diketahui bahwa persebaran tegangan pada *body* berada pada daerah penumpu kaca dan daerah sekitar pintu kendaraan, sedangkan pada daerah *body* bagian bawah persebarannya lebih sedikit dan lebih kecil nilainya. Hal ini dikarenakan pembebanan vertikal akibat berat dari kaca itu sendiri sebesar 41 kg dan berat dari aksesoris *body* seperti peredam pada *body* kendaraan (*firewall*, *plafon*, *trimboard*, *road noise*, dan lain-lain) sebesar 20 kg serta akibat gaya gravitasi sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$.

Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 30,034 Mpa pada *body* yang berada pada bagian sekitar pintu kendaraan, hal ini dikarenakan faktor geometri dari desain *body* kendaraan itu sendiri. Tegangan maksimal tersebut masih berada dibawah tegangan *yield* material aluminium EN AW-6060-T4 yang besarnya 60 Mpa dan *safety factornya* sebesar 1,99, sehingga menunjukkan bahwa desain *body* kendaraan dengan material aluminium EN AW-6060-T4 memiliki kekuatan yang cukup baik dan minimum *safety factor* terletak pada rangka penguat *body* bagian depan yaitu pada penumpu kaca bagian depan.

4.2.1.2 *Body* Komposit Carbon Fiber Kendaraan



(a)



(b)

Gambar 4.2 Hasil simulasi tegangan pada *body* komposit *carbon fiber* akibat *vetikal bending*, (a) Tegangan *Von-Mises*, (b) Detail Tegangan *Von-Mises*.

Dari hasil simulasi *vertikal bending* terhadap *body* kendaraan dengan material komposit *carbon fiber* yang memiliki jumlah layer 2 serta tebal 2 mm diketahui bahwa persebaran tegangan pada *body* berada pada hampir diseluruh daerah pada *body* bagian tengah dan belakang, sedangkan pada daerah *body* bagian depan terdekat dengan bumper persebaran tegangannya lebih sedikit dan lebih kecil nilainya. Hal ini dikarenakan pembebanan akibat berat dari kaca sebesar 41 kg dan berat dari aksesoris yang menempel pada *body* seperti peredam pada *body* kendaraan (*firewall*, *plafon*, *trimboard*, *road noise*, dan lain-lain) sebesar 20 kg serta akibat gaya gravitasi sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$.

Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 25,613 Mpa pada *body* yang berada pada bagian bawah *body* dekat dengan roda bagian belakang. Tegangan maksimal tersebut masih berada dibawah tegangan izin material dan juga lebih kecil bila dibandingkan dengan tegangan maksimal pada *body* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6060-T4 yang besarnya 30,034 Mpa, sehingga menunjukkan bahwa desain *body* kendaraan dengan material komposit *carbon fiber* memiliki kekuatan yang cukup baik dan lebih baik dari pada material aluminium EN AW-6060-T4.

4.2.1.3 Chassis Aluminium EN AW-6082-T6 Kendaraan



(a)

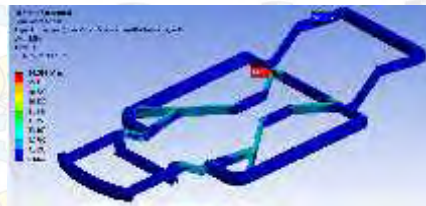


Gambar 4.3 Hasil simulasi tegangan pada *chassis* aluminium akibat *vertikal bending*, (a) Tegangan *Von-Mises*, (b) *Safety Factor*, (c) Detail Tegangan *Von-Mises*.

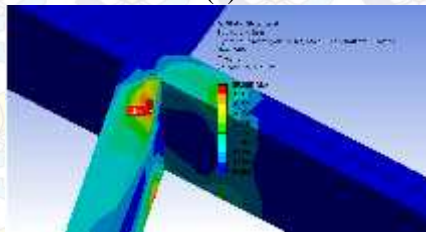
Dari hasil simulasi *vertikal bending* terhadap *chassis* kendaraan dengan material aluminium EN AW-6082-T6 yang memiliki ketebalan 2 mm diketahui bahwa persebaran tegangan pada *chassis* berada pada daerah *chassis* bagian depan dekat dengan *arm* roda bagian depan dan pada daerah *chassis* bagian belakang penumpu motor, sedangkan pada daerah bumper bagian depan dan belakang persebaran tegangannya cenderung lebih sedikit dan lebih kecil nilainya. Hal ini dikarenakan pembebanan akibat berat dari *body*, motor, baterai, *drivetrain*, pengemudi dan penumpang yang total beratnya sebesar 622 kg dan juga akibat gaya gravitasi sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$.

Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 101,86 Mpa pada *chassis* yang berada pada bagian belakang penumpu motor. Tegangan maksimal tersebut masih berada dibawah tegangan *yield* material aluminium EN AW-6082-T6 yang besarnya 250 Mpa dan *safety factor*nya sebesar 2,37, sehingga menunjukkan bahwa desain *chassis* kendaraan dengan material aluminium EN AW-6082-T6 memiliki kekuatan yang cukup baik dan desain *chassis* cukup aman serta minimum *safety factor* terletak pada *chassis* bagian belakang yaitu pada penumpu motor.

4.2.1.4 Chassis Komposit Carbon Fiber Sandwich Kendaraan



(a)



(b)

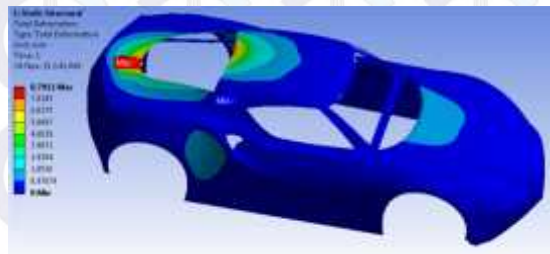
Gambar 4.4 Hasil simulasi tegangan pada *chassis* komposit *carbon fiber sandwich* akibat *vetikal bending*, (a) Tegangan Von-Mises, (b) Detail Tegangan Von-Mises.

Dari hasil simulasi *vertikal bending* terhadap *chassis* kendaraan dengan material komposit *carbon fiber sandwich* yang memiliki jumlah layer 5 dan terdiri dari 4 layer *epoxy carbon woven prepregs* dan 1 layer aluminium *honeycomb* serta ketebalan total 14 mm diketahui bahwa persebaran tegangan pada *chassis* berada pada hampir diseluruh daerah *chassis* bagian depan dekat dengan *arm* roda depan, bagian tengah dibawah ruang kemudi dan kursi dan pada daerah *chassis* bagian belakang, sedangkan pada daerah bumper bagian depan dan belakang persebaran tegangannya cenderung lebih sedikit dan lebih kecil nilainya. Hal ini dikarenakan pembebanan akibat berat dari *body*, motor, baterai, *drivetrain*, pengemudi dan penumpang yang total beratnya sebesar 622 kg dan juga akibat gaya gravitasi sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$.

Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 39,508 Mpa pada *chassis* yang berada pada bagian belakang, yaitu pada sambungan antar *chassis*. Karena *chassis* menggunakan material komposit maka sambungan menggunakan lem *epoxy*. Tegangan maksimal tersebut masih berada dibawah tegangan izin material dan juga lebih kecil bila dibandingkan dengan tegangan maksimal pada *chassis* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6 yang besarnya 101,86 Mpa, sehingga menunjukkan bahwa desain *chassis* kendaraan dengan material *carbon fiber sandwich* memiliki kekuatan yang cukup baik dan desain *chassis* lebih baik bila dibandingkan dengan material aluminium EN AW-6082-T6.

4.2.2 Analisa Gambar Deformasi Total

4.2.2.1 Body Aluminium EN AW-6060-T4 Kendaraan

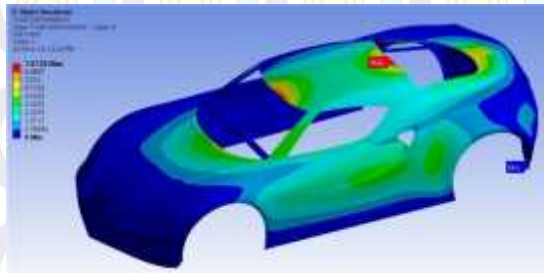


Gambar 4.5 Hasil simulasi deformasi total pada *body* aluminium EN AW-6060-T4 akibat *vetikal bending*.

Dari hasil simulasi *vertikal bending* terhadap *body* kendaraan dengan material aluminium EN AW-6060-T4 yang memiliki ketebalan 0,93 mm diketahui bahwa deformasi total maksimal yang terjadi sebesar 8,7911 mm pada daerah *body* atas yaitu pada penumpu kaca bagian belakang. Dikarenakan hasil deformasi yang masih cukup besar pada bagian tersebut, maka untuk mengurangi deformasi yang terjadi perlu diberi tambahan penguat berupa rangka *tubular chassis* pada bagian *body* atas dan penumpu kaca belakang. Sedangkan didaerah lainnya yaitu pada *body* bagian depan yang dekat dengan bumper mengalami

deformasi yang sangat kecil sekali. Tetapi bila ditinjau dengan teori *beam deflection* nilai deformasi yang diizinkan adalah kurang dari 17,073 mm yang berasal dari perkalian panjang *beam* (*body*) sebesar 4065 mm dan defleksi indeks untuk *chassis* kendaraan sebesar 0.0042. Berdasarkan hasil simulasi akibat pembebanan vertikal diketahui nilai deformasi total sebesar 8,7911 mm. Nilai deformasi total tersebut tidak melebihi nilai deformasi yang diizinkan, jadi *body* masih aman dalam menerima pembebanan vertikal.

4.2.2.2 *Body* Komposit Carbon Fiber Kendaraan

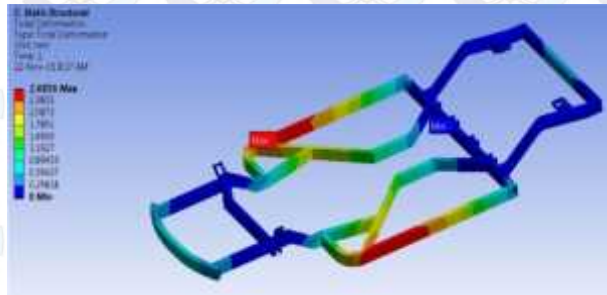


Gambar 4.6 Hasil simulasi deformasi total pada *body* Komposit *Carbon Fiber* akibat *vetikal bending*.

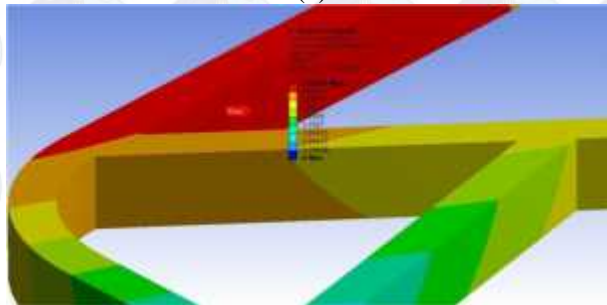
Dari hasil simulasi *vertikal bending* terhadap *body* kendaraan dengan material *carbon fiber* yang memiliki jumlah layer 2 serta ketebalan 2 mm diketahui bahwa deformasi total maksimal yang terjadi sebesar 7,0728 mm pada daerah *body* atas yaitu pada penumpang kaca bagian belakang dan bagian depan serta hampir diseluruh bodi bagian tengah dan belakang. Dikarenakan hasil deformasi yang masih cukup besar pada bagian tersebut, maka untuk mengurangi deformasi yang terjadi perlu diberi tambahan penguat berupa rangka *tubular chassis* pada bagian *body* atas dan penumpang kaca belakang. Sedangkan didaerah lainnya yaitu pada *body* bagian depan yang dekat dengan bumper mengalami deformasi yang sangat kecil sekali. Tetapi

bila ditinjau dengan teori *beam deflection* nilai deformasi yang diizinkan adalah kurang dari 17,073 mm yang berasal dari perkalian panjang *beam (body)* sebesar 4065 mm dan defleksi indeks untuk *chassis* kendaraan sebesar 0.0042. Berdasarkan hasil simulasi akibat pembebanan vertikal diketahui nilai deformasi total sebesar 7,0728 mm. Nilai deformasi total tersebut tidak melebihi nilai deformasi yang diizinkan serta nilai deformasi pada material *carbon fiber* lebih kecil bila dibandingkan dengan material aluminium EN AW-6060-T4, jadi *body* masih aman dalam menerima pembebanan vertikal.

4.2.2.3 Chassis Aluminium EN AW-6082-T6 Kendaraan



(a)

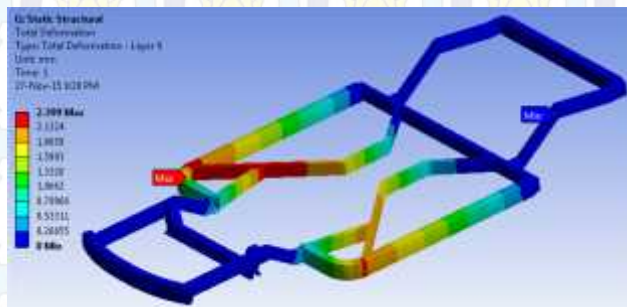


(b)

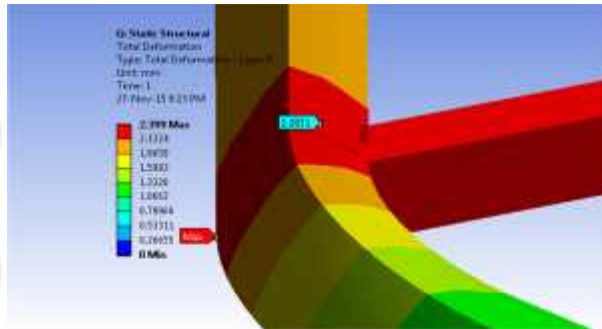
Gambar 4.7 Hasil simulasi deformasi pada *chassis* aluminium EN AW-6082-T6 akibat *vetikal bending*, (a) Deformasi total, (b) Detail deformasi total.

Dari hasil simulasi *vertikal bending* terhadap *chassis* kendaraan dengan material aluminium EN AW-6082-T6 yang memiliki ketebalan 2 mm diketahui bahwa deformasi total maksimal yang terjadi sebesar 2,6836 mm pada daerah *chassis* bagian bawah kursi pengemudi dan penumpang. Sedangkan didaerah lainnya yaitu pada *chassis* bagian depan dan belakang yang terdekat dengan *fix support* dalam hal ini *arm* roda depan dan belakang mengalami deformasi yang sangat kecil sekali. Bila ditinjau dengan teori *beam deflection* nilai deformasi yang diizinkan adalah kurang dari 17,073 mm yang berasal dari perkalian panjang *beam* (*chassis*) sebesar 4065 mm, dan defleksi indeks untuk *chassis* kendaraan sebesar 0.0042. Berdasarkan hasil simulasi akibat pembebanan vertikal diketahui nilai deformasi total sebesar 2,6836 mm. Nilai deformasi total tersebut masih jauh dari deformasi maksimum yang diizinkan tidak melebihi nilai deformasi yang diizinkan, jadi *chassis* masih aman dalam menerima pembebanan vertikal.

4.2.2.4 Chassis Komposit Carbon Fiber Sandwich Kendaraan



(a)



(b)

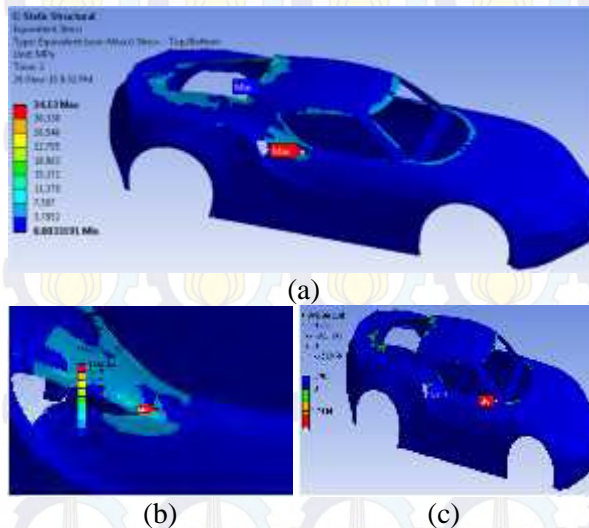
Gambar 4.8 Hasil simulasi deformasi pada *chassis carbon fiber sandwich* akibat *vertikal bending*, (a) Deformasi total, (b) Detail deformasi total.

Dari hasil simulasi *vertikal bending* terhadap *chassis* kendaraan dengan material *carbon fiber sandwich* yang memiliki jumlah layer 5 dan terdiri dari 4 layer *epoxy carbon woven prepregs* dan 1 layer aluminium *honeycomb* serta ketebalan total 14 mm diketahui bahwa deformasi total maksimal yang terjadi sebesar 2,399 mm pada daerah *chassis* bagian bawah kursi pengemudi dan penumpang. Sedangkan di daerah lainnya yaitu pada *chassis* bagian depan dan belakang yang terdekat dengan *fix support* dalam hal ini *arm* roda depan dan belakang mengalami deformasi yang sangat kecil sekali. Bila ditinjau dengan teori *beam deflection* nilai deformasi yang diizinkan adalah kurang dari 17,073 mm yang berasal dari perkalian panjang *beam* (*chassis*) sebesar 4065 mm, dan defleksi indeks untuk *chassis* kendaraan sebesar 0.0042. Berdasarkan hasil simulasi akibat pembebanan vertikal diketahui nilai deformasi total sebesar 2,399 mm. Nilai deformasi total tersebut masih jauh dari deformasi maksimum yang diizinkan dan tidak melebihi nilai deformasi yang diizinkan serta nilai deformasi pada material *carbon fiber sandwich* lebih kecil bila dibandingkan dengan material aluminium EN AW-6082-T6, jadi *chassis* masih aman dalam menerima pembebanan vertikal.

4.3 Analisa Gambar Hasil Simulasi Lateral Bending

4.3.1 Analisa Gambar Tegangan Von-Mises

4.3.1.1 *Body* Aluminium EN AW-6060-T4 Kendaraan

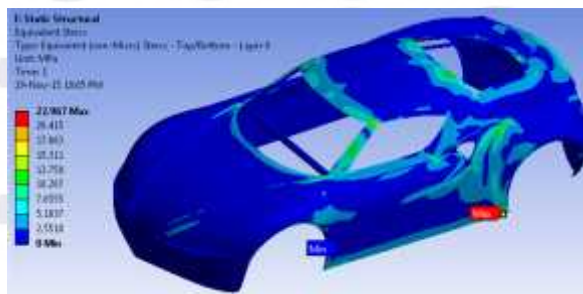


Gambar 4.9 Hasil simulasi tegangan pada *body* aluminium akibat *lateral bending*, (a) Tegangan Von-Mises, (b) Detail Tegangan Von-Mises, (c) *Safety Factor*.

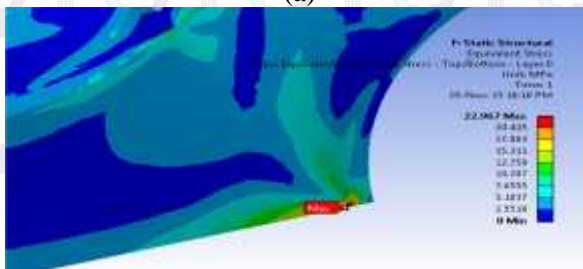
Dari hasil simulasi *lateral bending* terhadap *body* kendaraan dengan material aluminium EN AW-6060-T4 yang memiliki ketebalan 0,93 mm diketahui bahwa persebaran tegangan pada *body* berada pada daerah penumpu kaca dan daerah sekitar pintu kendaraan, sedangkan pada daerah *body* bagian bawah persebarannya lebih sedikit dan lebih kecil nilainya. Hal ini dikarenakan pembebanan lateral akibat belok diasumsikan kendaraan berbelok ke arah kanan dengan kecepatan 30 km/jam atau 8,33 m/s dengan radius 5,6 m dan berat dari kaca itu sendiri sebesar 41 kg serta berat dari aksesoris *body* seperti peredam pada *body* kendaraan (*firewall*, *plafon*, *trimboard*, *road noise*, dan lain-lain) sebesar 20 kg.

Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 34,13 Mpa pada *body* yang berada pada bagian sekitar pintu kendaraan bagian kanan, hal ini dikarenakan faktor geometri dari desain *body* kendaraan itu sendiri. Tegangan maksimal tersebut masih berada dibawah tegangan *yield* material aluminium EN AW-6060-T4 yang besarnya 60 Mpa dan *safety factornya* sebesar 1,758, sehingga menunjukkan bahwa desain *body* kendaraan dengan material aluminium EN AW-6060-T4 memiliki kekuatan yang cukup baik dan minimum *safety factor* terletak pada rangka penguat *body* bagian depan yaitu pada penumpu kaca bagian depan.

4.3.1.2 *Body* Komposit *Carbon Fiber* Kendaraan



(a)



(b)

Gambar 4.10 Hasil simulasi tegangan pada *body* komposit *carbon fiber* akibat *lateral bending*, (a) Tegangan *Von-Mises*, (b) Detail Tegangan *Von-Mises*.

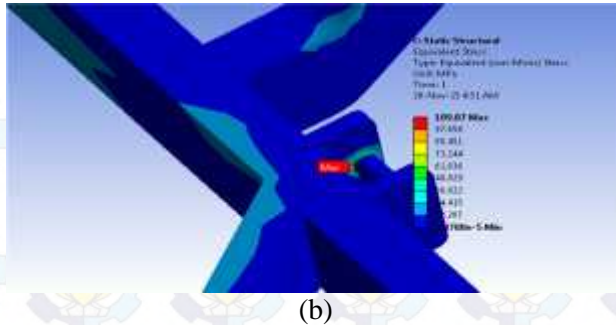
Dari hasil simulasi *lateral bending* terhadap *body* kendaraan dengan material komposit *carbon fiber* yang memiliki jumlah layer 2 serta tebal 2 mm diketahui bahwa persebaran tegangan pada *body* berada pada hampir diseluruh daerah pada *body* bagian tengah dan belakang, sedangkan pada daerah *body* bagian depan terdekat dengan bumper persebaran tegangannya lebih sedikit dan lebih kecil nilainya. Hal ini dikarenakan pembebanan lateral akibat belok diasumsikan kendaraan berbelok ke arah kanan dengan kecepatan 30 km/jam atau 8,33 m/s dengan radius 5,6 m dan berat dari kaca sebesar 41 kg serta berat dari aksesoris yang menempel pada *body* seperti peredam pada *body* kendaraan (*firewall*, *plafon*, *trimboard*, *road noise*, dan lain-lain) sebesar 20 kg.

Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 22,967 Mpa pada *body* yang berada pada bagian bawah *body* dekat dengan roda bagian belakang. Tegangan maksimal tersebut masih berada dibawah tegangan izin material dan juga lebih kecil bila dibandingkan dengan tegangan maksimal pada *body* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6060-T4 yang besarnya 34,13 Mpa, sehingga menunjukkan bahwa desain *body* kendaraan dengan material komposit *carbon fiber* memiliki kekuatan yang cukup baik dan lebih baik dari pada material aluminium EN AW-6060-T4.

4.3.1.3 Chassis Aluminium EN AW-6082-T6 Kendaraan



(a)

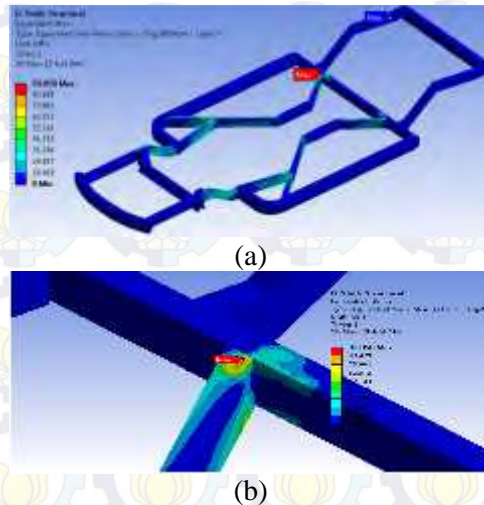


Gambar 4.11 Hasil simulasi tegangan pada *chassis* aluminium akibat *lateral bending*, (a)Tegangan *Von-Mises*, (b)Detail Tegangan *Von-Mises*.

Dari hasil simulasi *lateral bending* terhadap *chassis* kendaraan dengan material aluminium EN AW-6082-T6 yang memiliki ketebalan 2 mm diketahui bahwa persebaran tegangan pada *chassis* berada pada daerah *chassis* bagian depan dekat dengan *arm* roda bagian depan dan pada daerah *chassis* bagian belakang penumpu motor, sedangkan pada daerah bumper bagian depan dan belakang persebaran tegangannya cenderung lebih sedikit dan lebih kecil nilainya. Hal ini dikarenakan pembebanan lateral akibat belok diasumsikan kendaraan berbelok ke arah kanan dengan kecepatan 30 km/jam atau 8,33 m/s dengan radius 5,6 m serta berat dari *body*, motor, baterai, *drivetrain*, pengemudi dan penumpang yang total beratnya sebesar 622 kg.

Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 109,87 Mpa pada *chassis* yang berada pada bagian belakang penumpu motor. Tegangan maksimal tersebut masih berada dibawah tegangan *yield* material aluminium EN AW-6082-T6 yang besarnya 250 Mpa dan *safety factornya* sebesar 2,275, sehingga menunjukkan bahwa desain *chassis* kendaraan dengan material aluminium EN AW-6082-T6 memiliki kekuatan yang cukup baik dan desain *chassis* cukup aman serta minimum *safety factor* terletak pada *chassis* bagian belakang yaitu pada penumpu motor.

4.3.1.4 Chassis Komposit *Carbon Fiber Sandwich* Kendaraan



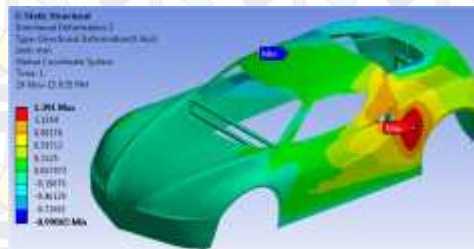
Gambar 4.12 Hasil simulasi tegangan pada *chassis* komposit *carbon fiber sandwich* akibat *lateral bending*, (a) Tegangan *Von-Mises*, (b) Detail Tegangan *Von-Mises*.

Dari hasil simulasi *lateral bending* terhadap *chassis* kendaraan dengan material komposit *carbon fiber sandwich* yang memiliki jumlah layer 5 dan terdiri dari 4 layer *epoxy carbon woven prepreps* dan 1 layer aluminium *honeycomb* serta ketebalan total 14 mm diketahui bahwa persebaran tegangan pada *chassis* berada pada hampir diseluruh daerah *chassis* bagian depan dekat dengan *arm* roda depan, bagian tengah dibawah ruang kemudi dan kursi dan pada daerah *chassis* bagian belakang, sedangkan pada daerah bumper bagian depan dan belakang persebaran tegangannya cenderung lebih sedikit dan lebih kecil nilainya. Hal ini dikarenakan pembebanan lateral akibat belok diasumsikan kendaraan berbelok ke arah kanan dengan kecepatan 30 km/jam atau 8,33 m/s dengan radius 5,6 m berat dari *body*, motor, baterai, drivetrain, pengemudi dan penumpang yang total beratnya sebesar 622 kg.

Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 93,858 Mpa pada *chassis* yang berada pada bagian belakang, yaitu pada sambungan antar *chassis*. Karena *chassis* menggunakan material komposit maka sambungan menggunakan lem *epoxy*. Tegangan maksimal tersebut masih berada dibawah tegangan izin material dan juga lebih kecil bila dibandingkan dengan tegangan maksimal pada *chassis* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6 yang besarnya 109,87 Mpa, sehingga menunjukkan bahwa desain *chassis* kendaraan dengan material *carbon fiber sandwich* memiliki kekuatan yang cukup baik dan desain *chassis* lebih baik bila dibandingkan dengan material aluminium EN AW-6082-T6.

4.3.2 Analisa Gambar Deformasi Arah Horizontal

4.3.2.1 Body Aluminium EN AW-6060-T4 Kendaraan

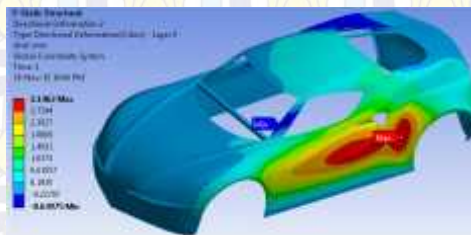


Gambar 4.13 Hasil simulasi deformasi arah horizontal pada *body* aluminium EN AW-6060-T4 akibat *lateral bending*.

Dari hasil simulasi *lateral bending* terhadap *body* kendaraan dengan material aluminium EN AW-6060-T4 yang memiliki ketebalan 0,93 mm diketahui bahwa deformasi arah horizontal maksimal yang terjadi sebesar 1,391 mm pada daerah *body* samping kiri yaitu daerah sekitar pintu sebelah kiri. Sedangkan didaerah lainnya hampir semua bagian *body* mengalami deformasi arah horizontal yang nilai deformasinya kecil. Bila ditinjau dengan teori *beam deflection* nilai deformasi yang diizinkan adalah kurang dari 17,073 mm yang berasal dari perkalian panjang *beam* (*body*) sebesar 4065 mm, dan defleksi

indeks untuk *chassis* kendaraan sebesar 0.0042. Berdasarkan hasil simulasi akibat pembebanan lateral diketahui nilai deformasi arah horizontal sebesar 1,391 mm. Nilai deformasi arah horizontal tersebut tidak melebihi nilai deformasi yang diizinkan, jadi *body* masih aman dalam menerima pembebanan lateral.

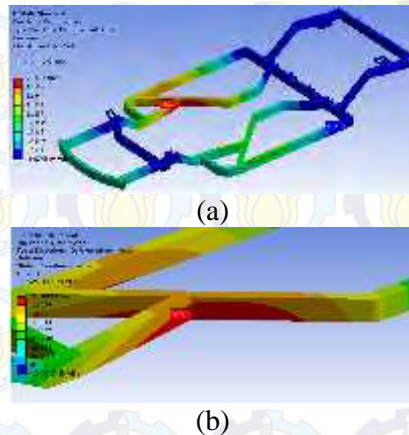
4.3.2.2 *Body* Komposit *Carbon Fiber* Kendaraan



Gambar 4.14 Hasil simulasi deformasi arah horizontal pada *body* Komposit *Carbon Fiber* akibat *lateral bending*.

Dari hasil simulasi *lateral bending* terhadap *body* kendaraan dengan material *Carbon Fiber* yang memiliki jumlah layer 2 serta ketebalan 2 mm diketahui bahwa deformasi arah horizontal maksimal yang terjadi sebesar 3,1462 mm pada daerah *body* samping kiri yaitu daerah sekitar pintu sebelah kiri serta hampir diseluruh *body* mengalami deformasi arah horizontal yang nilai deformasinya kecil. Bila ditinjau dengan teori *beam deflection* nilai deformasi yang diizinkan adalah kurang dari 17,073 mm yang berasal dari perkalian panjang *beam* (*body*) sebesar 4065 mm, dan defleksi indeks untuk *chassis* kendaraan sebesar 0.0042. Berdasarkan hasil simulasi akibat pembebanan lateral diketahui nilai deformasi arah horizontal sebesar 3,1462 mm. Nilai deformasi tersebut tidak melebihi nilai deformasi yang diizinkan tetapi nilai deformasi pada material *carbon fiber* lebih besar bila dibandingkan dengan material aluminium EN AW-6060-T4, jadi *body* masih aman dalam menerima pembebanan lateral tetapi lebih lemah menerima beban lateral bila dibandingkan *body* aluminium EN AW-6060-T4.

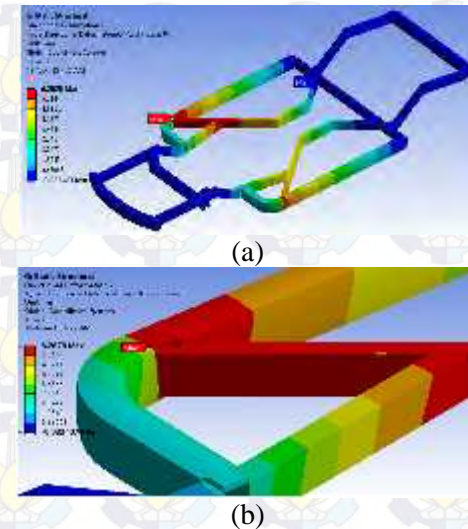
4.3.2.3 Chassis Aluminium EN AW-6082-T6 Kendaraan



Gambar 4.15 Hasil simulasi deformasi pada *chassis* aluminium EN AW-6082-T6 akibat *lateral bending*, (a) Deformasi horizontal, (b) Detail deformasi horizontal.

Dari hasil simulasi *lateral bending* terhadap *chassis* kendaraan dengan material aluminium EN AW-6082-T6 yang memiliki ketebalan 2 mm diketahui bahwa deformasi total maksimal yang terjadi sebesar 2,1093 mm pada daerah *chassis* bagian bawah kursi pengemudi dan penumpang. Sedangkan didaerah lainnya yaitu pada *chassis* bagian depan dan belakang yang terdekat dengan *fix support* dalam hal ini *arm* roda depan dan belakang mengalami deformasi yang sangat kecil sekali. Bila ditinjau dengan teori *beam deflection* nilai deformasi yang diizinkan adalah kurang dari 17,073 mm yang berasal dari perkalian panjang *beam* (*chassis*) sebesar 4065 mm, dan defleksi indeks untuk *chassis* kendaraan sebesar 0.0042. Berdasarkan hasil simulasi akibat pembebanan lateral diketahui nilai deformasi arah horizontal sebesar 2,1093 mm. Nilai deformasi tersebut masih jauh dari deformasi maksimum yang diizinkan tidak melebihi nilai deformasi yang diizinkan, jadi *chassis* masih aman dalam menerima pembebanan lateral.

4.3.2.4 Chassis Komposit Carbon Fiber Sandwich Kendaraan



Gambar 4.16 Hasil simulasi deformasi pada *chassis Carbon Fiber Sandwich* akibat *lateral bending*, (a) Deformasi horizontal, (b) Detail deformasi horizontal.

Dari hasil simulasi *lateral bending* terhadap *chassis* kendaraan dengan material *Carbon Fiber Sandwich* yang memiliki jumlah layer 5 dan terdiri dari 4 layer *epoxy carbon woven prepregs* dan 1 layer aluminium *honeycomb* serta ketebalan total 14 mm diketahui bahwa deformasi total maksimal yang terjadi sebesar 6,2078 mm pada daerah *chassis* bagian bawah kursi pengemudi dan penumpang. Sedangkan di daerah lainnya yaitu pada *chassis* bagian depan dan belakang yang terdekat dengan *fix support* dalam hal ini *arm* roda depan dan belakang mengalami deformasi yang sangat kecil sekali. Bila ditinjau dengan teori *beam deflection* nilai deformasi yang diizinkan adalah kurang dari 17,073 mm yang berasal dari perkalian panjang *beam* (*chassis*) sebesar 4065 mm, dan defleksi indeks untuk *chassis* kendaraan sebesar 0.0042. Berdasarkan hasil

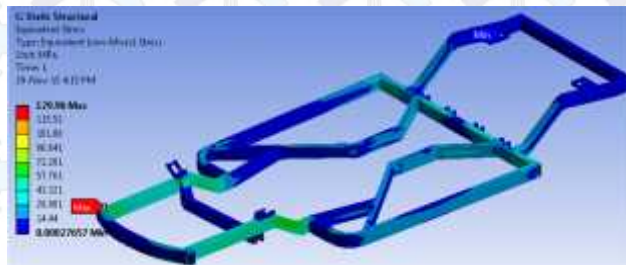
simulasi akibat pembebanan lateral diketahui nilai deformasi total sebesar 6,2078 mm. Nilai deformasi tersebut masih jauh dari deformasi maksimum yang diizinkan dan tidak melebihi nilai deformasi yang diizinkan serta nilai deformasi pada material *carbon fiber sandwich* lebih besar bila dibandingkan dengan material aluminium EN AW-6082-T6, jadi *chassis* masih aman dalam menerima pembebanan lateral tetapi lebih lemah menerima beban lateral bila dibandingkan *chassis* aluminium EN AW-6082-T6.

4.4 Analisa Gambar Hasil Simulasi *Torsional Bending*

4.4.1 Analisa Gambar Hasil Simulasi *Torsional Bending* Depan

4.4.1.1 Analisa Gambar Tegangan Von-Mises

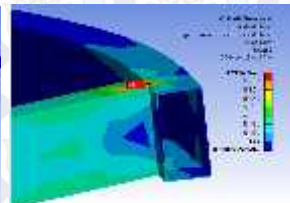
4.4.1.1.1 *Chassis* Aluminium EN AW-6082-T6 Kendaraan



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.17 Hasil simulasi tegangan pada *chassis* aluminium akibat *torsional bending* depan, (a) Tegangan Von-Mises, (b) *Safety Factor*, (c) Detail Tegangan Von-Mises.

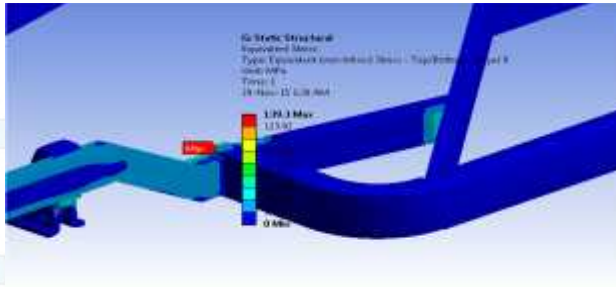
Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap *chassis* kendaraan dengan material aluminium EN AW-6082-T6 yang memiliki ketebalan 2 mm diketahui bahwa persebaran tegangan pada *chassis* berada hampir diseluruh bagian *chassis*, tetapi tegangan maksimum berada dibagian depan *chassis* yaitu pada sambungan antara *chassis* depan dan bumper depan. Sedangkan tegangan minimum berada pada *chassis* belakang yaitu pada *fix support* dan bumper belakang. Hal ini dikarenakan pembebanan torsional dengan gaya torsi depan sebesar 1371.5 N, nilai gaya ini dihasilkan dari gaya reaksi pembebanan pada dasar teori bab II yang nilainya 1055 yang kemudian dikalikan faktor dinamis beban torsional sebesar 1,3.

Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 129,96 Mpa pada *chassis* yang berada pada bagian depan yaitu sambungan antara *chassis* depan dan bumper depan. Tegangan maksimal tersebut masih berada dibawah tegangan *yield* material aluminium EN AW-6082-T6 yang besarnya 250 Mpa dan safety factornya sebesar 1,9236, sehingga menunjukkan bahwa desain *chassis* kendaraan dengan material aluminium EN AW-6082-T6 memiliki kekuatan yang cukup baik dan desain *chassis* cukup aman serta minimum *safety factor* terletak pada *chassis* bagian depan.

4.4.1.1.2 Chassis Komposit Carbon Fiber Sandwich Kendaraan



(a)



(b)

Gambar 4.18 Hasil simulasi tegangan pada *chassis* komposit *carbon fiber sandwich* akibat *torsional bending* depan, (a) Tegangan *Von-Mises*, (b) Detail Tegangan *Von-Mises*.

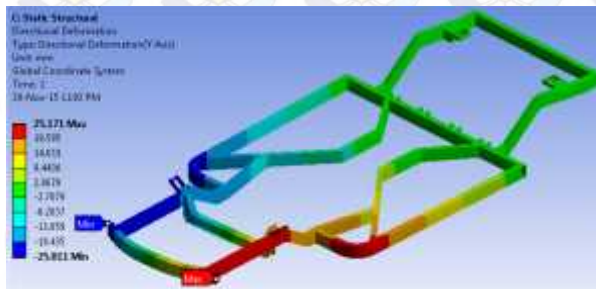
Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap *chassis* kendaraan dengan material komposit *carbon fiber sandwich* yang memiliki jumlah layer 5 dan terdiri dari 4 layer *epoxy carbon woven prepreps* dan 1 layer aluminium *honeycomb* serta ketebalan total 14 mm diketahui bahwa persebaran tegangan pada *chassis* berada hampir diseluruh bagian *chassis*, tetapi tegangan maksimum berada dibagian depan *chassis* yaitu pada sambungan antar *chassis* depan dibawah ruang kemudi dan penumpang. Sedangkan tegangan minimum berada pada *chassis* belakang yaitu pada *fix support* dan bumper belakang. Hal ini dikarenakan pembebanan torsional dengan gaya torsi depan sebesar 1371.5 N, nilai gaya ini dihasilkan dari gaya reaksi pembebanan pada dasar teori bab II yang nilainya 1055 yang kemudian dikalikan faktor dinamis beban torsional sebesar 1,3.

Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 139,3 Mpa pada *chassis* yang berada pada bagian depan, yaitu pada sambungan antar *chassis*. Karena *chassis* menggunakan material komposit maka sambungan menggunakan lem *epoxy*. Nilai tegangan maksimal tersebut masih berada dibawah tegangan izin material tetapi lebih besar bila dibandingkan dengan tegangan maksimal pada *chassis* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6 yang besarnya 129,96 Mpa, hal ini dikarenakan faktor desain

geometri dari *chassis* itu sendiri. Sehingga dapat disimpulkan bahwa desain *chassis* kendaraan dengan material *carbon fiber sandwich* memiliki kekuatan yang cukup baik dan desain *chassis* kurang baik bila dibandingkan dengan material aluminium EN AW-6082-T6 dalam menerima beban torsional.

4.4.1.2 Analisa Gambar Deformasi Arah Vertikal

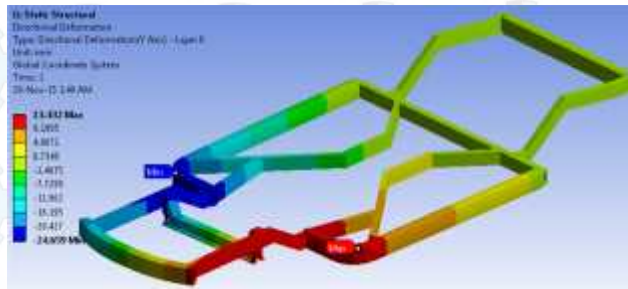
4.4.1.2.1 *Chassis* Aluminium EN AW-6082-T6 Kendaraan



Gambar 4.19 Hasil simulasi deformasi arah vertikal pada *chassis* aluminium EN AW-6082-T6 akibat *torsional bending* depan.

Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap *chassis* kendaraan dengan material aluminium EN AW-6082-T6 yang memiliki ketebalalan 2 mm diketahui bahwa deformasi vertikal yang terjadi sebesar 25,171 mm dan -25,011 mm pada daerah *chassis* bagian depan dan bumper depan. Sedangkan didaerah lainnya yaitu pada *chassis* bagian tengah dan belakang nilai deformasinya lebih kecil. Bila ditinjau dengan teori *beam deflection* nilai deformasi yang diizinkan adalah kurang dari 17,073 mm yang berasal dari perkalian panjang *beam* (*chassis*) sebesar 4065 mm, dan defleksi indeks untuk *chassis* kendaraan sebesar 0.0042. Berdasarkan hasil simulasi akibat pembebanan torsional diketahui nilai deformasi arah vertikal sebesar 25,171 mm dan -25,011 mm. Nilai deformasi tersebut lebih dari deformasi maksimum yang diizinkan, jadi *chassis* kurang aman dalam menerima pembebanan torsional depan.

4.4.1.2.2 Chassis Komposit Carbon Fiber Sandwich Kendaraan



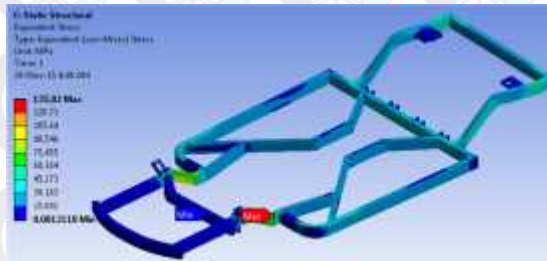
Gambar 4.20 Hasil simulasi deformasi arah vertikal pada *chassis carbon fiber sandwich* akibat *torsional bending* depan.

Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap *chassis* kendaraan dengan material *Carbon Fiber Sandwich* yang memiliki jumlah layer 5 dan terdiri dari 4 layer *epoxy carbon woven prepreps* dan 1 layer aluminium *honeycomb* serta ketebalan total 14 mm diketahui bahwa deformasi vertikal yang terjadi sebesar 13,171 mm dan -24,659 mm pada daerah *chassis* bagian depan dan bumper depan. Sedangkan di daerah lainnya yaitu pada *chassis* bagian belakang nilai deformasinya lebih kecil. Bila ditinjau dengan teori *beam deflection* nilai deformasi yang diizinkan adalah kurang dari 17,073 mm yang berasal dari perkalian panjang *beam (chassis)* sebesar 4065 mm, dan defleksi indeks untuk *chassis* kendaraan sebesar 0.0042. Berdasarkan hasil simulasi akibat pembebanan torsional diketahui nilai deformasi arah vertikal sebesar 13,171 mm dan -24,659 mm. Nilai deformasi tersebut lebih dari deformasi maksimum yang diizinkan, jadi *chassis* kurang aman dalam menerima pembebanan torsional depan tetapi lebih baik dalam menerima beban torsional bila dibandingkan *chassis* aluminium EN AW-6082-T6 yang nilai deformasinya 25,171 mm dan -25,011 mm.

4.4.2 Analisa Gambar Hasil Simulasi *Torsional Bending* Belakang

4.4.2.1 Analisa Gambar Tegangan Von-Mises

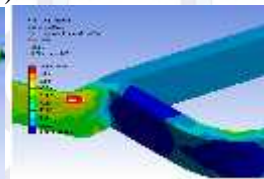
4.4.2.1.1 *Chassis* Aluminium EN AW-6082-T6 Kendaraan



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.21 Hasil simulasi tegangan pada *chassis* aluminium akibat *torsional bending* belakang, (a)Tegangan Von-Mises, (b) *Safety Factor*, (c)Detail Tegangan Von-Mises.

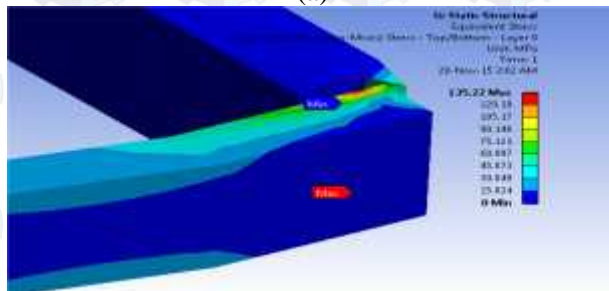
Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap *chassis* kendaraan dengan material aluminium EN AW-6082-T6 yang memiliki ketebalan 2 mm diketahui bahwa persebaran tegangan pada *chassis* berada hampir diseluruh bagian *chassis*, tetapi tegangan maksimum berada dibagian depan *chassis* yaitu pada *chassis* depan dibawah ruang kemudi dan penumpang. Sedangkan tegangan minimum berada pada *chassis* depan terdekat dengan bumper depan dan *fix support* depan. Hal ini dikarenakan pembebanan torsional dengan gaya torsi belakang sebesar 1816.1 N, nilai gaya ini dihasilkan dari gaya reaksi pembebanan pada dasar teori bab II yang nilainya 1397 yang kemudian dikalikan faktor dinamis beban torsional sebesar 1,3.

Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 135,82 Mpa pada *chassis* yang berada pada bagian depan yaitu sambungan antara *chassis* depan dan bumper depan. Tegangan maksimal tersebut masih berada dibawah tegangan *yield* material aluminium EN AW-6082-T6 yang besarnya 250 Mpa dan safety factornya sebesar 1,8407, sehingga menunjukkan bahwa desain *chassis* kendaraan dengan material aluminium EN AW-6082-T6 memiliki kekuatan yang cukup baik dan desain *chassis* cukup aman serta minimum *safety factor* terletak pada *chassis* bagian depan dibawah ruang kemudi dan penumpang.

4.4.2.1.2 Chassis Komposit Carbon Fiber Sandwich Kendaraan



(a)



(b)

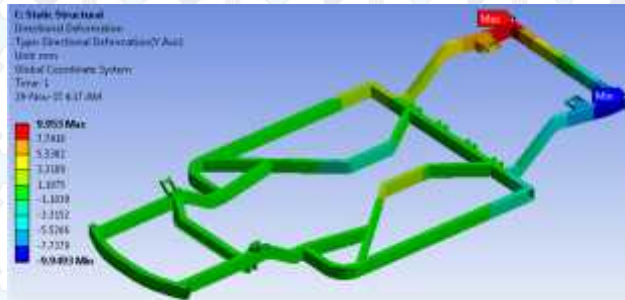
Gambar 4.22 Hasil simulasi tegangan pada *chassis* komposit *carbon fiber sandwich* akibat *torsional bending* belakang, (a) Tegangan *Von-Mises*, (b) Detail Tegangan *Von-Mises*.

Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap *chassis* kendaraan dengan material komposit *carbon fiber sandwich* yang memiliki jumlah layer 5 dan terdiri dari 4 layer *epoxy carbon woven preregs* dan 1 layer aluminium *honeycomb* serta ketebalan total 14 mm diketahui bahwa persebaran tegangan pada *chassis* berada pada bagian belakang *chassis* dan tegangan maksimum berada dibagian belakang *chassis* yaitu pada sambungan antar *chassis* belakang dan bumper belakang. Sedangkan tegangan minimum berada pada *chassis* bagian depan dan pada *fix support* serta bumper depan. Hal ini dikarenakan pembebanan torsional dengan gaya torsi depan sebesar 1816.1 N, nilai gaya ini dihasilkan dari gaya reaksi pembebanan pada dasar teori bab II yang nilainya 1055 yang kemudian dikalikan faktor dinamis beban torsional sebesar 1,3.

Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 135,22 Mpa pada *chassis* yang berada pada bagian belakang, yaitu pada sambungan antara *chassis* dan bumper belakang. Karena *chassis* menggunakan material komposit maka sambungan menggunakan lem *epoxy*. Nilai tegangan maksimal tersebut masih berada dibawah tegangan izin material dan hampir sama bila dibandingkan dengan tegangan maksimal pada *chassis* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6 yang besarnya 135,82 Mpa, hanya selisih nilai dibelakng koma. Sehingga dapat disimpulkan bahwa desain *chassis* kendaraan dengan material *carbon fiber sandwich* memiliki kekuatan yang cukup baik dan desain *chassis* memiliki kekuatan yang sama bila dibandingkan dengan material aluminium EN AW-6082-T6 dalam menerima beban torsional.

4.4.2.2 Analisa Gambar Deformasi Arah Vertikal

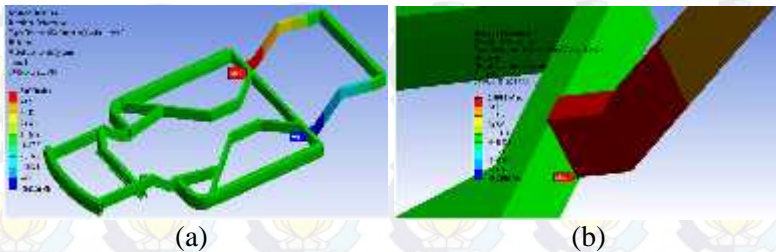
4.4.2.2.1 Chassis Aluminium EN AW-6082-T6 Kendaraan



Gambar 4.23 Hasil simulasi deformasi arah vertikal pada *chassis* aluminium EN AW-6082-T6 akibat *torsional bending* belakang.

Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap *chassis* kendaraan dengan material aluminium EN AW-6082-T6 yang memiliki ketebalalan 2 mm diketahui bahwa deformasi vertikal yang terjadi sebesar 9,953 mm dan -9,9493 mm pada daerah *chassis* bagian belakang dan bumper belakang. Sedangkan didaerah lainnya yaitu pada *chassis* bagian tengah dan belakang nilai deformasinya lebih kecil. Bila ditinjau dengan teori *beam deflection* nilai deformasi yang diizinkan adalah kurang dari 17,073 mm yang berasal dari perkalian panjang *beam (chassis)* sebesar 4065 mm, dan defleksi indeks untuk *chassis* kendaraan sebesar 0.0042. Berdasarkan hasil simulasi akibat pembebanan torsional diketahui nilai deformasi arah vertikal sebesar 9,953 mm dan -9,9493 mm. Nilai deformasi tersebut masih dibawah deformasi maksimum yang diizinkan, jadi *chassis* cukup aman dalam menerima pembebanan torsional belakang.

4.4.2.2 Chassis Komposit Carbon Fiber Sandwich Kendaraan



Gambar 4.24 Hasil simulasi deformasi pada *chassis carbon fiber sandwich* akibat *torsional bending* belakang, (a) Deformasi vertikal, (b) Detail deformasi vertikal.

Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap *chassis* kendaraan dengan material *carbon fiber sandwich* yang memiliki jumlah layer 5 dan terdiri dari 4 layer *epoxy carbon woven preregs* dan 1 layer aluminium *honeycomb* serta ketebalan total 14 mm diketahui bahwa deformasi vertikal yang terjadi sebesar 5,8988 mm dan -5,6106 mm pada daerah *chassis* bagian belakang yaitu pada sambungan antara *chassis* bagian belakang dan *chassis* bagian tengah. Sedangkan didaerah lainnya yaitu pada *chassis* bagian depan nilai deformasinya lebih kecil. Bila ditinjau dengan teori *beam deflection* nilai deformasi yang diizinkan adalah kurang dari 17,073 mm yang berasal dari perkalian panjang *beam* (*chassis*) sebesar 4065 mm, dan defleksi indeks untuk *chassis* kendaraan sebesar 0.0042. Berdasarkan hasil simulasi akibat pembebanan torsional diketahui nilai deformasi arah vertikal sebesar 5,8988 mm dan -5,6106 mm. Nilai deformasi tersebut masih dibawah deformasi maksimum yang diizinkan, jadi *chassis* cukup aman dalam menerima pembebanan torsional belakang dan juga lebih baik dalam menerima beban torsional bila dibandingkan *chassis* aluminium EN AW-6082-T6 yang nilai deformasinya 9,953 mm dan -9,9493 mm.

4.4.3 Analisa Gambar Hasil Simulasi *Torsional Bending* Depan dan Belakang

4.4.3.1 Analisa Gambar Tegangan Von-Mises

4.4.3.1.1 *Chassis* Aluminium EN AW-6082-T6 Kendaraan



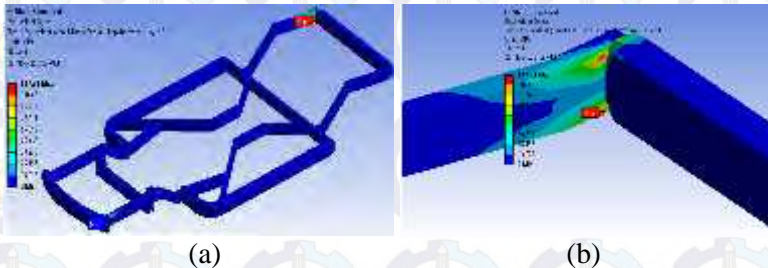
Gambar 4.25 Hasil simulasi tegangan pada *chassis* aluminium akibat *torsional bending* depan dan belakang, (a) Tegangan *Von-Mises*, (b) Detail Tegangan *Von-Mises*.

Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap *chassis* kendaraan dengan material aluminium EN AW-6082-T6 yang memiliki ketebalan 2 mm diketahui bahwa persebaran tegangan pada *chassis* berada hampir diseluruh bagian *chassis*, tetapi tegangan maksimum berada dibagian depan *chassis* yaitu pada *chassis* depan penumpang *drivetrain*. Sedangkan tegangan minimum berada pada *chassis* terdekat dengan *fix support* depan kanan dan belakang kiri. Hal ini dikarenakan pembebanan torsional dengan gaya torsi sebesar 1371.5N untuk depan dan 1816.1N untuk torsi belakang, nilai gaya ini dihasilkan dari gaya reaksi pembebanan pada dasar teori bab II yang nilainya 1055 N dan 1397 N yang kemudian dikalikan faktor dinamis beban torsional sebesar 1,3.

Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 161,35 Mpa pada *chassis* yang berada pada bagian depan yaitu sambungan antara *chassis* depan dan *chassis* penumpang *drivetrain*. Tegangan maksimal tersebut masih berada dibawah tegangan *yield* material aluminium EN AW-6082-T6 yang besarnya 250 Mpa dan safety factornya sebesar 1,549, sehingga menunjukkan bahwa desain

chassis kendaraan dengan material aluminium EN AW-6082-T6 memiliki kekuatan yang cukup baik dan desain *chassis* cukup aman serta minimum *safety factor* terletak pada *chassis* bagian depan penumpang *drivetrain*.

4.4.3.1.2 Chassis Komposit Carbon Fiber Sandwich Kendaraan



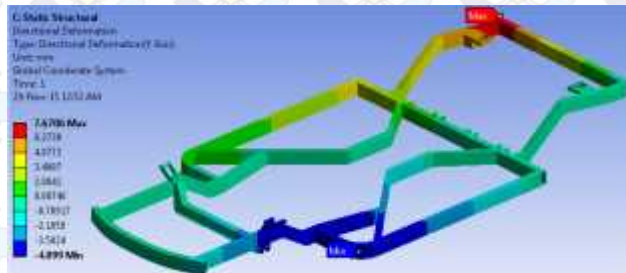
Gambar 4.26 Hasil simulasi tegangan pada *chassis* komposit *carbon fiber sandwich* akibat *torsional bending* depan dan belakang, (a) Tegangan *Von-Mises*, (b) Detail Tegangan *Von-Mises*.

Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap *chassis* kendaraan dengan material komposit *carbon fiber sandwich* yang memiliki jumlah layer 5 dan terdiri dari 4 layer *epoxy carbon woven prepreps* dan 1 layer aluminium *honeycomb* serta ketebalan total 14 mm diketahui bahwa persebaran tegangan pada *chassis* berada pada bagian depan dan belakang *chassis* dan tegangan maksimum berada dibagian belakang *chassis* yaitu pada sambungan antar *chassis* belakang dan bumper belakang. Sedangkan tegangan minimum berada pada *chassis* terdekat dengan *fix support* depan kanan dan belakang kiri. Hal ini dikarenakan pembebanan torsional dengan gaya torsi depan sebesar 1371.5 N untuk depan dan 1816.1 N untuk torsi belakang, nilai gaya ini dihasilkan dari gaya reaksi pembebanan pada dasar teori bab II yang nilainya 1055 N dan 1397 N yang kemudian dikalikan faktor dinamis beban torsional sebesar 1,3.

Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 117,71 Mpa pada *chassis* yang berada pada bagian belakang, yaitu pada sambungan antara *chassis* dan bumper belakang. Karena *chassis* menggunakan material komposit maka sambungan menggunakan lem *epoxy*. Nilai tegangan maksimal tersebut masih berada dibawah tegangan izin material dan lebih kecil bila dibandingkan dengan tegangan maksimal pada *chassis* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6 yang besarnya 161,35 Mpa. Sehingga dapat disimpulkan bahwa desain *chassis* kendaraan dengan material *carbon fiber sandwich* memiliki kekuatan yang cukup baik dan desain *chassis* memiliki kekuatan yang lebih baik bila dibandingkan dengan material aluminium EN AW-6082-T6 dalam menerima beban torsional depan dan belakang.

4.4.3.2 Analisa Gambar Deformasi Arah Vertikal

4.4.3.2.1 Chassis Aluminium EN AW-6082-T6 Kendaraan

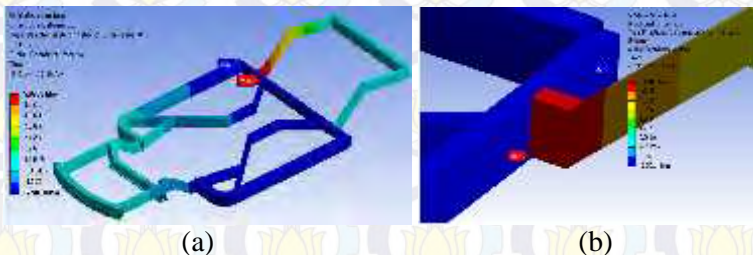


Gambar 4.27 Hasil simulasi deformasi arah vertikal pada *chassis* aluminium EN AW-6082-T6 akibat *torsional bending* depan dan belakang.

Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap *chassis* kendaraan dengan material aluminium EN AW-6082-T6 yang memiliki ketebalalan 2 mm diketahui bahwa deformasi vertikal yang terjadi sebesar 7,6706 mm dan -4,899 mm pada daerah *chassis* bagian depan dan belakang. Sedangkan didaerah lainnya yaitu pada *chassis* bagian fix support depan kanan dan belakang

kiri nilai deformasinya relatif lebih kecil. Bila ditinjau dengan teori *beam deflection* nilai deformasi yang diizinkan adalah kurang dari 17,073 mm yang berasal dari perkalian panjang *beam* (*chassis*) sebesar 4065 mm, dan defleksi indeks untuk *chassis* kendaraan sebesar 0.0042. Berdasarkan hasil simulasi akibat pembebanan torsional diketahui nilai deformasi arah vertikal sebesar 7,6706 mm dan -4,899 mm. Nilai deformasi tersebut masih dibawah deformasi maksimum yang diizinkan, jadi *chassis* cukup aman dalam menerima pembebanan torsional depan dan belakang.

4.4.3.2.2 Chassis Komposit Carbon Fiber Sandwich Kendaraan

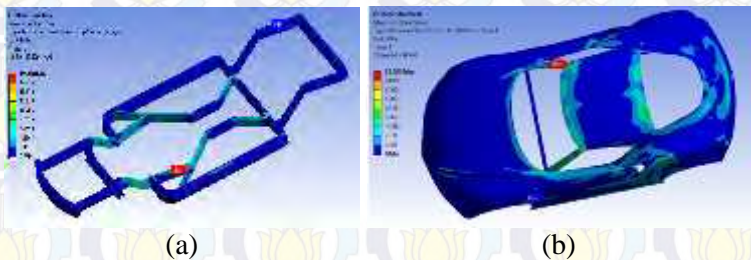


Gambar 4.28 Hasil simulasi deformasi pada *chassis Carbon Fiber Sandwich* akibat *torsional bending* depan dan belakang, (a) Deformasi vertikal, (b) Detail deformasi vertikal.

Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap *chassis* kendaraan dengan material *Carbon Fiber Sandwich* yang memiliki jumlah layer 5 dan terdiri dari 4 layer *epoxy carbon woven prepregs* dan 1 layer aluminium *honeycomb* serta ketebalan total 14 mm diketahui bahwa deformasi vertikal yang terjadi sebesar 5,8988 mm dan -2,5014 mm pada daerah *chassis* bagian belakang yaitu pada sambungan antara *chassis* bagian belakang dan *chassis* bagian tengah. Sedangkan didaerah lainnya yaitu pada *chassis* bagian fix support depan kanan dan belakang kiri nilai deformasinya relatif lebih kecil. Bila ditinjau dengan teori *beam deflection* nilai deformasi yang diizinkan adalah

kurang dari 17,073 mm yang berasal dari perkalian panjang *beam* (*chassis*) sebesar 4065 mm, dan defleksi indeks untuk *chassis* kendaraan sebesar 0,0042. Berdasarkan hasil simulasi akibat pembebanan torsional diketahui nilai deformasi arah vertikal sebesar 5,8988 mm dan -2,5014 mm. Nilai deformasi tersebut masih dibawah deformasi maksimum yang diizinkan, jadi *chassis* cukup aman dalam menerima pembebanan torsional depan dan belakang dan juga lebih baik dalam menerima beban torsional bila dibandingkan *chassis* aluminium EN AW-6082-T6 yang nilai deformasinya 7,6706 mm dan -4,899 mm.

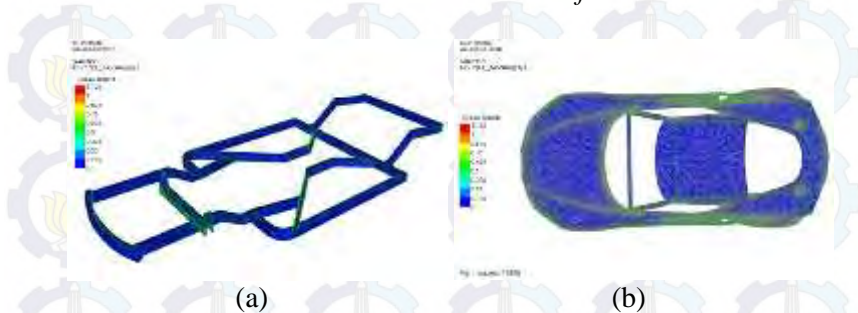
4.5 Analisa Kriteria Aman Pada Material Komposit



Gambar 4.29 Hasil simulasi *shear stress* pada material *Carbon Fiber Sandwich* akibat vertikal bending, (a) *Chassis*, (b) *Body*.

Selain menggunakan *Von-Mises equivalent stress* untuk membandingkan kekuatan material komposit dan aluminium, juga dicari *shear stress* dan *failure criteria* untuk material komposit. Hal ini dikarenakan komposit yang digunakan berupa layer-layer dari *skin(carbon fiber)* dan *core(aluminium honeycomb)*. Didapatkan nilai *shear stress* pada *chassis* 19,378 Mpa dan pada *body* 12,303 Mpa, tegangan akibat *shear stress* tersebut masih dibawah batas aman dari material komposit yang digunakan sehingga desain *chassis* dan *body* aman untuk digunakan. Untuk *failure criteria* yang digunakan dalam simulasi ini adalah berdasarkan teori *Tsai-Hill*, karena *Tsai-Hill* merupakan

modifikasi dari teori kegagalan sebelumnya yaitu teori kegagalan *Von-Mises*. Berikut hasil simulasi *Tsai-Hill failure criteria*:

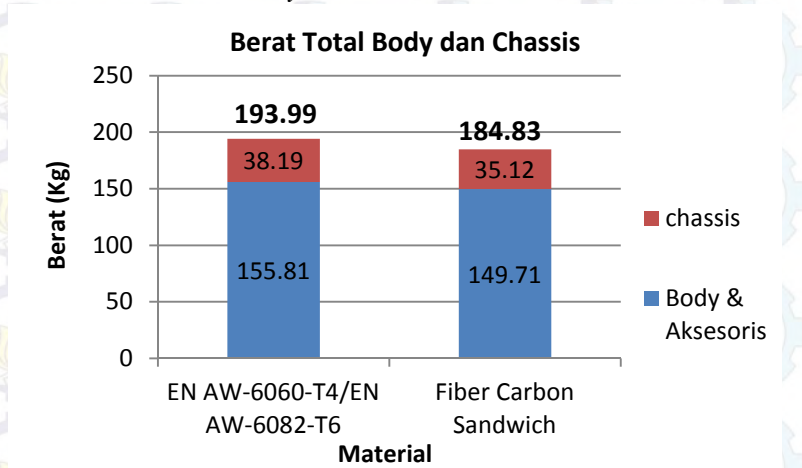


Gambar 4.30 Hasil simulasi *Tsai-Hill failure criteria* pada material *Carbon Fiber Sandwich* akibat vertikal bending, (a) *Chassis*, (b) *Body*.

Kriteria aman untuk *Tsai-Hill failure criteria* adalah kurang dari 1. Dari simulasi *Tsai-Hill failure criteria* yang telah dilakukan, pada *chassis* didapatkan nilai 0,625 dan pada *body* 0,75. Sehingga dapat disimpulkan bahwa desain *chassis* dan *body* yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* layak atau aman untuk digunakan.

4.6 Analisa Data Grafik

4.6.1 Analisa Berat *Body* dan *Chassis* Kendaraan

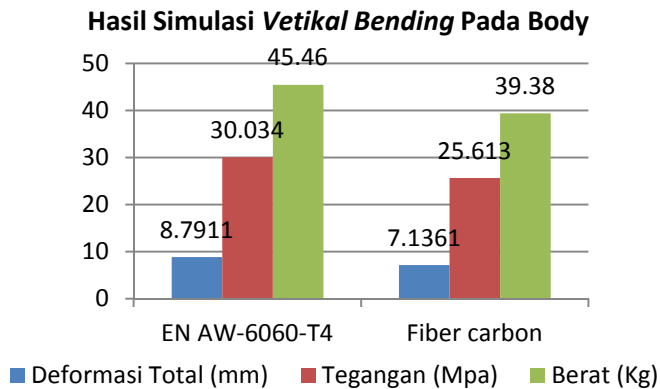


Gambar 4.31 Grafik perbandingan berat *body* dan *chassis* kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6060-T4/EN AW-6082-T6 dan *carbon fiber sandwich*.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa *chassis* dan *body* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6060-T4/EN AW-6082-T6 memiliki berat sebesar 193,99 kg yang terdiri dari berat *body* aluminium EN AW-6060-T4 sebesar 45,46 kg, aksesoris yang menempel pada *body* seperti peredam (*firewall*, *plafon*, *trimboard* dan *road noise*) sebesar 20 kg, kabin (*dashboard*, *doortrim* dan kursi) sebesar 50 kg dan berat kaca sebesar 40.345 kg. Sedangkan *chassis* dan *body* yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* memiliki berat sebesar 193,99 kg yang terdiri dari berat *body carbon fiber sandwich* sebesar 39,38 kg, aksesoris yang menempel pada *body* seperti peredam (*firewall*, *plafon*, *trimboard* dan *road noise*) sebesar 20 kg, kabin (*dashboard*, *doortrim* dan kursi) sebesar 50 kg dan berat kaca sebesar 40.345 kg. Pada *chassis* dan *body* yang terbuat dari

material aluminium EN AW-6060-T4/EN AW-6082-T6 memiliki tebal 2 mm. Sedangkan pada *body* yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* memiliki tebal 2 mm dan 2 layer *epoxy carbon woven prepregs* serta pada *chassis* yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* memiliki tebal 14 mm yang terdiri 4 layer *epoxy carbon woven prepregs* dan 1 layer aluminium *honeycomb*.

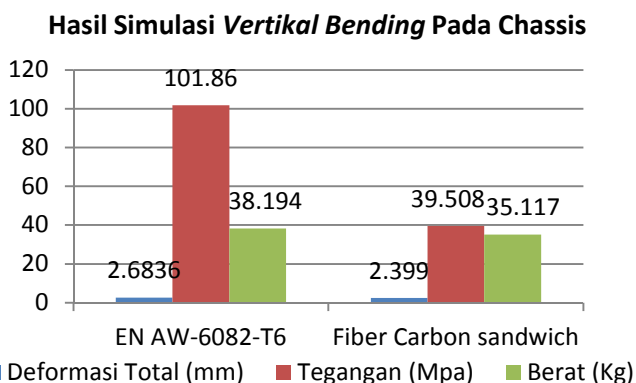
4.6.2 Analisa Data Hasil Simulasi Vertikal Bending



Gambar 4.32 Grafik perbandingan simulasi *vertikal bending* pada *body* kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6060-T4 dan *Carbon fiber Sandwich*.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa hasil simulasi *vertikal bending* pada *body* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6060-T4 yang memiliki ketebalalan 2 mm diketahui deformasi sebesar 8,7911 mm, tegangan yang dihasilkan 30,034 Mpa dan berat *body* tanpa aksesoris mencapai 45,46 kg. Sedangkan pada *body* yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* yang memiliki jumlah layer 2 dan terdiri dari 2 layer *epoxy carbon woven prepregs* ketebalan total 2 mm diketahui deformasi sebesar 7,1361 mm, tegangan yang

dihasilkan 25,613 Mpa dan berat *body* tanpa aksesoris mencapai 39,38 kg. Sehingga dapat disimpulkan bahwa desain *body* kendaraan yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* lebih baik dalam menerima pembebanan vertikal akibat berat dari kaca itu sendiri sebesar 41 kg dan berat dari aksesoris *body* seperti peredam pada *body* kendaraan (*firewall*, *plafon*, *trimboard*, *road noise*, dan lain-lain) sebesar 20 kg serta akibat gaya gravitasi sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$.

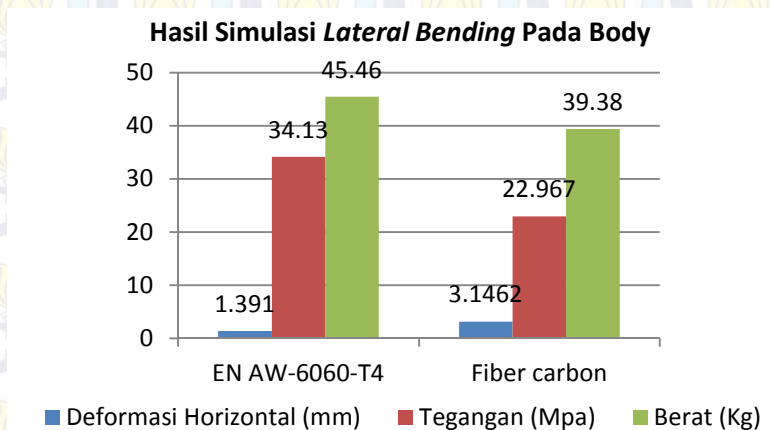


Gambar 4.33 Grafik perbandingan simulasi *vertikal bending* pada *chassis* kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6082-T6 dan *carbon fiber sandwich*.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa hasil simulasi *vertikal bending* pada *chassis* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6 yang memiliki ketebalan 2 mm diketahui deformasi sebesar 2,6836 mm, tegangan yang dihasilkan 101,86 Mpa dan berat *chassis* mencapai 38,194 kg. Sedangkan pada *chassis* yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* yang memiliki jumlah layer 5 dan terdiri dari 4 layer *epoxy carbon woven prepreps* dan 1 layer aluminium *honeycomb* serta ketebalan total 14 mm diketahui deformasi sebesar 2,399 mm, tegangan yang dihasilkan 39,508 Mpa dan berat *chassis* mencapai 35,117 kg. Sehingga dapat disimpulkan

bahwa desain *chassis* kendaraan yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* lebih baik dalam menerima pembebanan vertikal akibat berat dari *body*, motor, baterai, *drivetrain*, pengemudi dan penumpang yang total beratnya sebesar 622 kg dan juga akibat gaya gravitasi sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$.

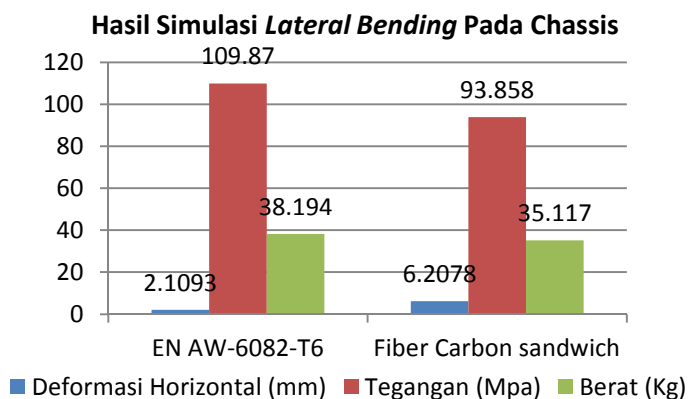
4.6.3 Analisa Data Hasil Simulasi *Lateral Bending*



Gambar 4.34 Grafik perbandingan simulasi *lateral bending* pada *body* kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6060-T4 dan *carbon fiber*.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa hasil simulasi *lateral bending* pada *body* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6060-T4 yang memiliki ketebalalan 2 mm diketahui deformasi sebesar 1,391 mm, tegangan yang dihasilkan 34,13 Mpa dan berat *body* tanpa aksesoris mencapai 45,46 kg. Sedangkan pada *body* yang terbuat dari material komposit *carbon fiber* yang memiliki jumlah layer 2 dan terdiri dari 2 layer *epoxy carbon woven prepreps* ketebalan total 2 mm diketahui deformasi sebesar 3,1462 mm, tegangan yang dihasilkan 22,967 Mpa dan berat *body* tanpa aksesoris mencapai 39,38 kg. Sehingga dapat

disimpulkan bahwa desain *body* kendaraan yang terbuat dari material komposit *carbon fiber* kurang baik dalam menerima pembebanan lateral akibat belok diasumsikan kendaraan berbelok ke arah kanan dengan kecepatan 30 km/jam atau 8,33 m/s dengan radius 5,6 m dan berat dari kaca itu sendiri sebesar 41 kg serta berat dari aksesoris *body* seperti peredam pada *body* kendaraan (*firewall*, *plafon*, *trimboard*, *road noise*, dan lain-lain) sebesar 20 kg yang nilai deformasinya lebih besar dari pada *body* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6060-T4 tetapi nilai tegangannya lebih rendah.



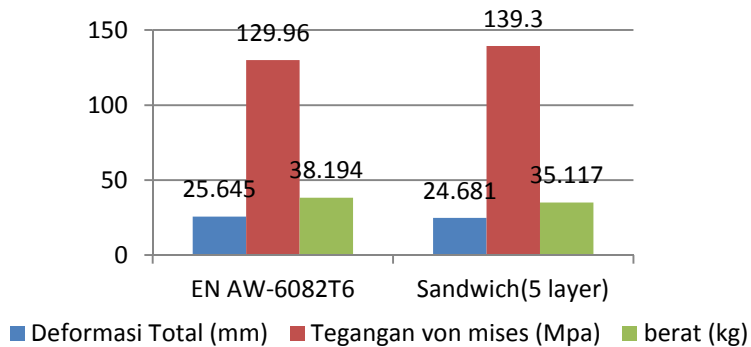
Gambar 4.35 Grafik perbandingan simulasi *lateral bending* pada *chassis* kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6082-T6 dan *carbon fiber sandwich*.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa hasil simulasi *lateral bending* pada *chassis* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6 yang memiliki ketebalan 2 mm diketahui deformasi sebesar 2,1093 mm, tegangan yang dihasilkan 109,87 Mpa dan berat *chassis* mencapai 38,194 kg. Sedangkan pada *chassis* yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* yang memiliki jumlah layer 5 dan terdiri dari 4 layer *epoxy carbon woven prepregs* dan 1 layer aluminium

honeycomb serta ketebalan total 14 mm diketahui deformasi sebesar 6,2078 mm, tegangan yang dihasilkan 93,858 Mpa dan berat *chassis* mencapai 35,117 kg. Sehingga dapat disimpulkan bahwa desain *chassis* kendaraan yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* kurang baik dalam menerima pembebanan lateral akibat belok diasumsikan kendaraan berbelok ke arah kanan dengan kecepatan 30 km/jam atau 8,33 m/s dengan radius 5,6 m serta berat dari *body*, motor, baterai, *drivetrain*, pengemudi dan penumpang yang total beratnya sebesar 622 kg yang nilai deformasinya lebih besar dari pada *body* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6 tetapi nilai tegangannya lebih rendah.

4.6.4 Analisa Data Hasil Simulasi *Torsional Bending*

Hasil Simulasi *Torsional Bending* Depan Pada Chassis

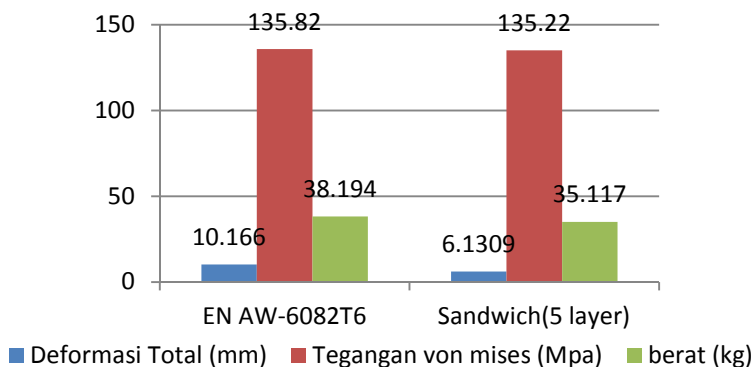


Gambar 4.36 Grafik perbandingan simulasi *torsional bending* depan pada *chassis* kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6082-T6 dan *carbon fiber sandwich*.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa hasil simulasi *torsional bending* pada *chassis* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6 yang memiliki ketebalan 2 mm diketahui deformasi sebesar 25,645 mm, tegangan yang

dihasilkan 129,96 Mpa dan berat *chassis* mencapai 38,194 kg. Sedangkan pada *chassis* yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* yang memiliki jumlah layer 5 dan terdiri dari 4 layer *epoxy carbon woven prepreps* dan 1 layer aluminium *honeycomb* serta ketebalan total 14 mm diketahui deformasi sebesar 24,681 mm, tegangan yang dihasilkan 139,3 Mpa dan berat *chassis* mencapai 35,117 kg. Sehingga dapat disimpulkan bahwa desain *chassis* kendaraan yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* lebih baik dalam menerima pembebanan torsional dengan gaya torsi depan sebesar 1371.5 N, nilai gaya ini dihasilkan dari gaya reaksi pembebanan pada dasar teori bab II yang nilainya 1055 yang kemudian dikalikan faktor dinamis beban torsional sebesar 1,3. Nilai deformasi pada *chassis* yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* lebih kecil dari pada *chassis* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6 tetapi nilai tegangannya lebih tinggi.

Hasil Simulasi *Torsional Bending* Belakang Pada Chassis

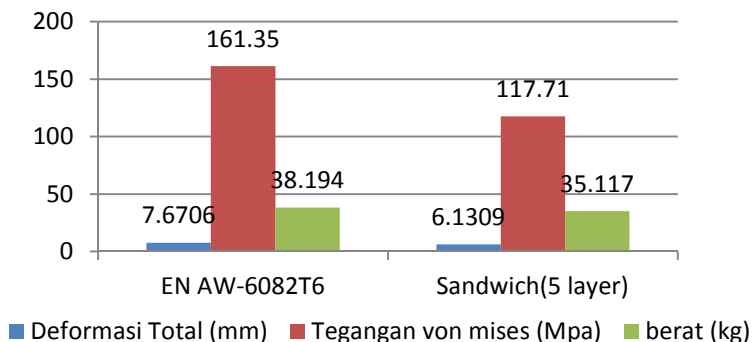


Gambar 4.37 Grafik perbandingan simulasi *torsional bending* belakang pada *chassis* kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6082-T6 dan *carbon fiber sandwich*.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa hasil simulasi *torsional bending* pada *chassis* yang terbuat dari material

aluminium EN AW-6082-T6 yang memiliki ketebalan 2 mm diketahui deformasi sebesar 10,166 mm, tegangan yang dihasilkan 135,82 Mpa dan berat *chassis* mencapai 38,194 kg. Sedangkan pada *chassis* yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* yang memiliki jumlah layer 5 dan terdiri dari 4 layer *epoxy carbon woven prepregs* dan 1 layer aluminium *honeycomb* serta ketebalan total 14 mm diketahui deformasi sebesar 6,1309 mm, tegangan yang dihasilkan 135,22 Mpa dan berat *chassis* mencapai 35,117 kg. Sehingga dapat disimpulkan bahwa desain *chassis* kendaraan yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* lebih baik dalam menerima pembebanan torsional dengan gaya torsi belakang sebesar 1816.1 N, nilai gaya ini dihasilkan dari gaya reaksi pembebanan pada dasar teori bab II yang nilainya 1397 yang kemudian dikalikan faktor dinamis beban torsional sebesar 1,3. Nilai deformasi pada *chassis* yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* lebih kecil dari pada *chassis* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6 sedangkan nilai tegangannya hampir sama hanya berbeda angka dibelakang koma.

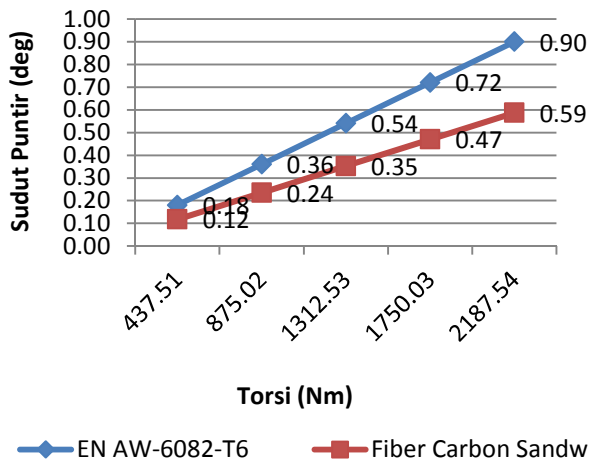
Hasil Simulasi *Torsional Bending* Depan dan Belakang Pada Chassis



Gambar 4.38 Grafik perbandingan simulasi *torsional bending* depan dan belakang pada *chassis* kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6082-T6 dan *carbon fiber sandwich*.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa hasil simulasi *torsional bending* pada *chassis* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6 yang memiliki ketebalan 2 mm diketahui deformasi sebesar 7,6706 mm, tegangan yang dihasilkan 161,35 Mpa dan berat *chassis* mencapai 38,194 kg. Sedangkan pada *chassis* yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* yang memiliki jumlah layer 5 dan terdiri dari 4 layer *epoxy carbon woven prepregs* dan 1 layer aluminium *honeycomb* serta ketebalan total 14 mm diketahui deformasi sebesar 6,1309 mm, tegangan yang dihasilkan 117,71 Mpa dan berat *chassis* mencapai 35,117 kg. Sehingga dapat disimpulkan bahwa desain *chassis* kendaraan yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* lebih baik dalam menerima pembebanan torsional dengan gaya torsi sebesar 1371.5 N untuk torsi depan dan 1816.1 N untuk torsi belakang, nilai gaya ini dihasilkan dari gaya reaksi pembebanan pada dasar teori bab II yang nilainya 1055 N dan 1397 N yang kemudian dikalikan faktor dinamis beban torsional sebesar 1,3. Nilai deformasi pada *chassis* yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* lebih kecil dari pada *chassis* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6 dan juga nilai tegangannya lebih rendah.

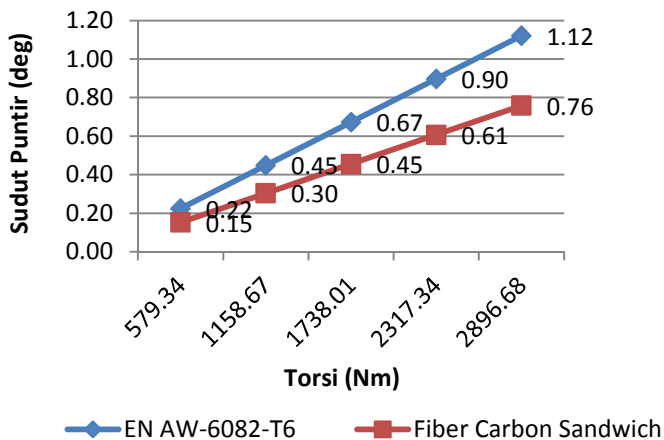
Torsi Vs Sudut Puntir Pada Pembebanan Depan



Gambar 4.39 Grafik perbandingan *torsi* pada pembebanan depan *chassis* kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6082-T6 dan *carbon fiber sandwich* dengan sudut puntir.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin besar nilai *torsi* maka sudut puntirnya juga akan mengalami peningkatan. Dari grafik diatas diketahui bahwa pada *chassis* kendaraan yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6 dengan *torsi* sebesar 2187,54 Nm akan menghasilkan defleksi sudut sebesar 0,90°. Sedangkan pada *chassis* kendaraan yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* dengan *torsi* yang sama sebesar 2187,54 Nm akan menghasilkan defleksi sudut sebesar 0,59°. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya nilai *torsi* maka akan bertambah besar pula defleksi sudut puntir yang terjadi dan pada pada material komposit *carbon fiber sandwich* dengan *torsi* yang sama menghasilkan defleksi sudut puntir yang lebih kecil bila dibandingkan material aluminium EN AW-6082-T6, jadi dengan menggunakan material komposit *carbon fiber sandwich* desain *chassis* akan lebih kaku dalam menerima beban *torsional* depan.

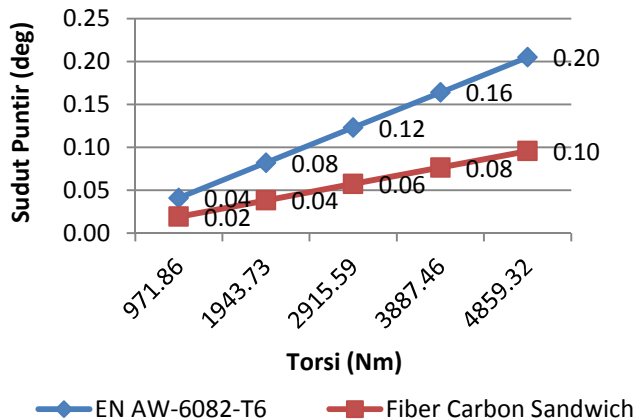
Torsi Vs Sudut Puntir Pada Pembebanan Belakang



Gambar 4.40 Grafik perbandingan *torsi* pada pembebanan belakang *chassis* kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6082-T6 dan *carbon fiber sandwich* dengan sudut puntir.

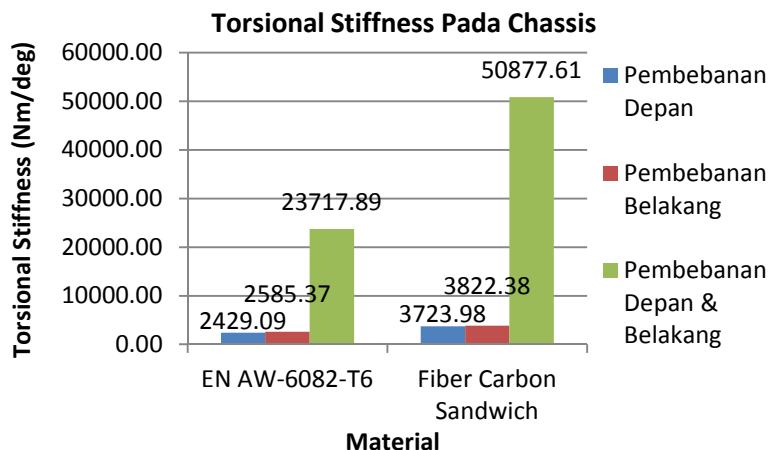
Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin besar nilai *torsi* maka sudut puntirnya juga akan mengalami peningkatan. Dari grafik diatas diketahui bahwa pada *chassis* kendaraan yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6 dengan torsi sebesar 2896,68 Nm akan menghasilkan defleksi sudut sebesar 1,12°. Sedangkan pada *chassis* kendaraan yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* dengan torsi yang sama sebesar 2896,68 Nm akan menghasilkan defleksi sudut sebesar 0,76°. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya nilai torsi maka akan bertambah besar pula defleksi sudut puntir yang terjadi dan pada pada material komposit *carbon fiber sandwich* dengan torsi yang sama menghasilkan defleksi sudut puntir yang lebih kecil bila dibandingkan material aluminium EN AW-6082-T6, jadi dengan menggunakan material komposit *carbon fiber sandwich* desain *chassis* akan lebih kaku dalam menerima beban *torsional* belakang.

Torsi Vs Sudut Puntir Pada Pembebanan Depan dan Belakang



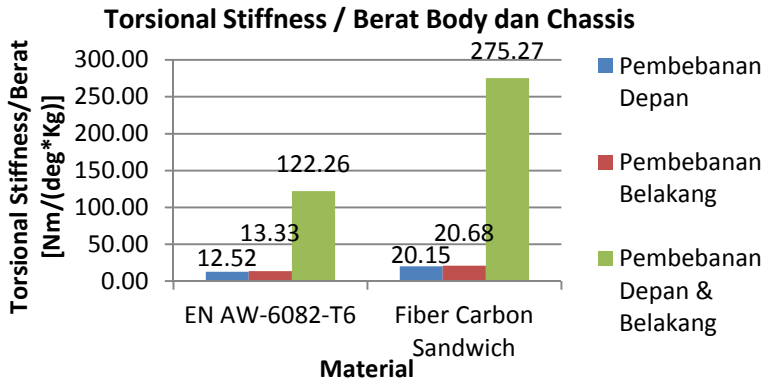
Gambar 4.41 Grafik perbandingan *torsi* pada pembebanan depan dan belakang *chassis* kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6082-T6 dan *carbon fiber sandwich* dengan sudut puntir.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin besar nilai *torsi* maka sudut puntirnya juga akan mengalami peningkatan. Dari grafik diatas diketahui bahwa pada *chassis* kendaraan yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6 dengan torsi sebesar 4859,32 Nm akan menghasilkan defleksi sudut sebesar 0,20°. Sedangkan pada *chassis* kendaraan yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* dengan torsi yang sama sebesar 4859,32 Nm akan menghasilkan defleksi sudut sebesar 0,10°. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya nilai torsi maka akan bertambah besar pula defleksi sudut puntir yang terjadi dan pada pada material komposit *carbon fiber sandwich* dengan torsi yang sama menghasilkan defleksi sudut puntir yang lebih kecil bila dibandingkan material aluminium EN AW-6082-T6, jadi dengan menggunakan material komposit *carbon fiber sandwich* desain *chassis* akan lebih kaku dalam menerima beban *torsional* depan dan belakang.



Gambar 4.42 Grafik perbandingan *torsional stiffness* pada pembebanan depan, pembebanan belakang, pembebanan depan dan belakang terhadap *chassis* kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6082-T6 dan *carbon fiber sandwich*

Dari grafik diatas dapat dilihat pada *chassis* kendaraan yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6 dengan pembebanan depan menghasilkan *torsional stiffness* sebesar 2429,09 Nm/deg, pembebanan belakang menghasilkan *torsional stiffness* sebesar 2585,37 Nm/deg dan dengan pembebanan depan dan belakang menghasilkan *torsional stiffness* sebesar 23717,89 Nm/deg. Sedangkan pada *chassis* kendaraan yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* dengan pembebanan depan menghasilkan *torsional stiffness* sebesar 3723,98 Nm/deg, pembebanan belakang menghasilkan *torsional stiffness* sebesar 3822,38 Nm/deg dan dengan pembebanan depan dan belakang menghasilkan *torsional stiffness* sebesar 50877,61 Nm/deg. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada *chassis* dengan material komposit *carbon fiber sandwich* dengan pembebanan depan, pembebanan belakang, pembebanan depan dan belakang nilai *torsional stiffness* lebih tinggi dibandingkan *chassis* kendaraan yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6.



Gambar 4.43 Grafik perbandingan *torsional stiffness*/berat *chassis* pada pembebanan depan, pembebanan belakang, pembebanan depan dan belakang terhadap *chassis* kendaraan yang terbuat dari material EN AW-6082-T6 dan *carbon fiber sandwich*

Dari grafik diatas dapat dilihat pada *chassis* kendaraan yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6 dengan pembebanan depan menghasilkan *torsional stiffness*/berat sebesar 12,52 Nm/(deg.kg), pembebanan belakang menghasilkan *torsional stiffness*/berat sebesar 13,33 Nm/(deg.kg) dan dengan pembebanan depan dan belakang menghasilkan *torsional stiffness*/berat sebesar 122,26 Nm/(deg.kg). Sedangkan pada *chassis* kendaraan yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* dengan pembebanan depan menghasilkan *torsional stiffness*/berat sebesar 20,15 Nm/(deg.kg), pembebanan belakang menghasilkan *torsional stiffness*/berat sebesar 20,68 Nm/(deg.kg) dan dengan pembebanan depan dan belakang menghasilkan *torsional stiffness*/berat sebesar 275,27 Nm/(deg.kg). Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada *chassis* dengan material komposit *carbon fiber sandwich* dengan pembebanan depan, pembebanan belakang, pembebanan depan dan belakang nilai *torsional stiffness*/berat lebih tinggi karena berat *chassis* yang lebih ringan dibandingkan *chassis* kendaraan yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada desain *body* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6060-T4 dengan ketebalan 0,93 mm memiliki kekuatan yang baik karena nilai tegangan *von-mises* akibat *vertikal bending* yang terjadi sebesar 30,034 Mpa dan masih berada dibawah tegangan izin material aluminium EN AW-6060-T4 yang besarnya 60 Mpa dengan *safety factor* sebesar 1,99 serta deformasi maksimal yang terjadi 8,7911 mm. Nilai tegangan *von-mises* akibat *lateral bending* yang terjadi sebesar 34,13 Mpa dengan *safety factor* sebesar 1,758 dan deformasi horizontal sebesar 1,391 mm. Sedangkan pada *body* kendaraan yang terbuat dari material komposit *carbon fiber* yang memiliki jumlah layer 2 serta tebal 2 mm memiliki kekuatan yang baik karena nilai tegangan *von-mises* dan *shear stress* akibat *vertikal bending* yang terjadi sebesar 25,613 Mpa dan 12,303 Mpa yang masih berada dibawah tegangan izin material *carbon fiber* serta deformasi maksimal yang terjadi 7,0728 mm. Nilai tegangan *von-mises* akibat *lateral bending* yang terjadi sebesar 22,967 Mpa dan deformasi horizontal sebesar 3,1462 mm. Dan juga nilai *Tsai-Hill failure*nya adalah 0,75 sehingga desain aman digunakan. Jadi dapat disimpulkan bahwa desain *body* kendaraan yang terbuat dari material komposit *carbon fiber* memiliki kekuatan yang lebih baik dalam menerima beban vertikal tetapi kurang baik dalam beban lateral bila dibandingkan desain *body* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6060-T4.
2. Pada desain *chassis* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6 dengan ketebalan 2 mm memiliki kekuatan yang baik karena nilai tegangan *von-mises* akibat *vertikal bending* yang terjadi sebesar 101,86 Mpa dan masih berada dibawah

tegangan izin material aluminium EN AW-6060-T4 yang besarnya 250 Mpa dengan *safety factor* sebesar 2,37 serta deformasi maksimal yang terjadi 2,6836 mm. Nilai tegangan *von-mises* akibat *lateral bending* yang terjadi sebesar 109,87 Mpa dengan *safety factor* sebesar 2,275 dan deformasi horizontal sebesar 2,1093 mm. *Torsional stiffness* terbesar yaitu pada pembebanan depan dan belakang yang dimiliki *chassis* aluminium EN AW-6082-T6 sebesar 23717,89 Nm/deg, hasil tersebut menunjukkan kekakuan yang baik pada *chassis* aluminium EN AW-6082-T6. Sedangkan pada *chassis* kendaraan yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* yang memiliki jumlah layer 5 dan terdiri dari 4 layer *epoxy carbon woven prepregs* dan 1 layer aluminium *honeycomb* serta ketebalan total 14 mm memiliki kekuatan yang baik karena nilai tegangan *von-mises* dan *shear stress* akibat *vertikal bending* yang terjadi sebesar 39,508 Mpa dan 19,378 Mpa yang masih berada dibawah tegangan izin material *carbon fiber* serta deformasi maksimal yang terjadi 2,399 mm. Nilai tegangan *von-mises* akibat *lateral bending* yang terjadi sebesar 93,858 Mpa dan deformasi horizontal sebesar 6,2078 mm. Dan juga nilai *Tsai-Hill failure*nya adalah 0,625 sehingga desain aman digunakan. *Torsional stiffness* terbesar yaitu pada pembebanan depan dan belakang yang dimiliki *body carbon fiber* sebesar 50877,61 Nm/deg, hasil tersebut menunjukkan kekakuan yang baik pada *body carbon fiber*. Jadi dapat disimpulkan bahwa desain *chassis* kendaraan yang terbuat dari material komposit *carbon fiber sandwich* memiliki kekuatan yang lebih baik dalam menerima beban vertikal tetapi kurang baik dalam beban lateral bila dibandingkan desain *chassis* yang terbuat dari material aluminium EN AW-6082-T6 dan kekakuan *chassis carbon fiber sandwich* lebih baik bila dibandingkan *chassis* aluminium EN AW-6082-T6.

3. Berat desain *body* aluminium EN AW-6060-T4 sebesar 45,46 kg dan berat desain *chassis* aluminium EN AW-6082-T6

sebesar 38,194 kg. Berat total desain *body* dan *chassis* aluminium serta aksesoris mencapai 193,99 kg. Sedangkan berat desain *body* komposit *carbon fiber* sebesar 39,38 kg dan berat desain *chassis* komposit *carbon fiber sandwich* sebesar 35,117 kg. Berat total desain *body* dan *chassis* komposit *carbon fiber* mencapai 184,83 kg. Jadi dapat disimpulkan bahwa desain *body* dan *chassis* komposit *carbon fiber* lebih ringan bila dibandingkan desain *body* dan *chassis* aluminium.

5.2 Saran

Adapun saran yang penulis berikan pada penelitian ini adalah :

1. Penggunaan material komposit *sandwich* pada *body* dan *chassis* kendaraan, perlu diperhatikan arah susunan lamina karena mempengaruhi bentuk *polar stacking sequences* dari material komposit yang digunakan tersebut.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] I Nyoman Sutantra. 2009. Teknologi Otomotif : Teori dan Aplikasinya. Surabaya: Guna Widya.
- [2] Alief Wikarta. 2015. Penelitian & Pengembangan Mobil Listrik ITS: Seminar Mobil Listrik. Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.
- [3] Salvi Gauri Sanjay, Kulkarni Abhijeet, Gandhi Pratik Pradeep dan Baskar P, *Finite Element Analysis of Fire Truck Chassis for Steel and Carbon Fiber Materials*, *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, ISSN : 2248-9622, Vol. 4, Issue 7 (Version 2), July 2014, pp.69-74.
- [4] Jürgen HIRSCH. 2014. *Recent development in aluminium for automotive applications*. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 24(2014) 1995–2002.
- [5] Eurenien, C.A. dkk. 2013. *Analysis of Composite Chassis*. Goteborg: Chalmers University of Technology.
- [6] David R. Cramer, David F. Taggart dan Hypercar, Inc. 2002. *Design and Manufacture of an Affordable Advanced-Composite Automotive Body Structure*. Reprinted with permission from the *Proceedings of The 19th International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition*. Copyright 2002 EVS-19.
- [7] MatWeb, Material Property Data. <URL: <http://matweb.com/index.aspx/>>
- [8] ASM Handbook. 1990. *Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. USA: ASM International.
- [9] *LadderFrame*.
<URL:<http://www.curbsideclassic.com/automotive-histories/automotive-history-an-x-ray-look-at-gms-x-frame-1957-1970/>>
- [10] *Ladder frame* dengan palang X. <URL: http://www.quickiwiki.com/en/Vehicle_frame>
- [11] <URL: <http://Repository.usu.ac.id>>

- [12] *Tubular Space Frame*. <URL: <http://Formula-dictionary.net>>
- [13] *Monocoque*.<URL:<http://www.auto.cz/lamborghini-karbonovy-monokok-pro-byka-54482/>>
- [14] *Backbonechassis*. <URL: <http://www.initialdave.com/cars/tech/chassisbasics01.htm>>
- [15] Chassis mobil Mercedes tahun 1901.<URL:<http://www.curbsideclassic.com/automotive-histories/automotive-history-an-x-ray-look-at-gms-x-frame-1957-1970/>>
- [16] Chassis dari truk heavy duty. <URL: <http://car-illustration.com/illustrations/>>
- [17] Chung, Deborah D.L.2010. *Composite Materials, Science and Applications*. Springer: United Kingdom.
- [18] Mazumdar, Sanjay K. *Composites Manufacturing*. CRC Press: United Kingdom.
- [19] P.C Pandey. *Composite Materials, Web Based Course*. Dept. of Civil Engineering IISc Bangalore: India.
- [20] Callister, Jr. William.D. 2007. *Material Sciene And Engineering An Introduction*. John Wiley & Sons Inc: United States of America.
- [21] <URL: http://www.nedalextrusion.com/files/4013/0678/5548/Data_6060.pdf/>
- [22] *Woven fiber triaxial*. <URL: http://En.wikipedia.org/wiki/3D_composites/>
- [23] *Lamina dan Laminat*. <URL: [http:// Composite.ugent/](http://Composite.ugent/)>
- [24] *Laminat Unidirectional dan Crossplied quasi-isotropic*. <URL: <http://Quartus.com/resources/white-papers/composites-101/>>
- [25] Hexcel Corporation. 1987. *The Base on Bonded Sandwich Construction TSB 124*. USA: Hexcel Trademark.
- [26] <URL: http://En.wikipedia.org/wiki/Carbon-fiber-reinforced_polymer/>
- [27] Morgan, P. 2005. *Carbon Fibers and their Composites*. New York: Taylor & Francis Group.

- [28] Hexcel Composite. 1999. *HexWeb Honeycomb Attribut and Properties*. California: Recycled Paper.
- [29] <URL: <http://Easycomposites.co.uk/Category/Core-Materials.aspx/>>
- [30] David A. Crolla. 2009. *Powertrain, Chassis System And Vehicle Body*. United States of America: Elsevier.
- [31] Annual Book of Sandwich Panel Flexure ASTM C 393-94. 1984. *Standard Test Method for Flexural and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials (Metric)*. USA: ASTM International.
- [32] Hariyanto Agus. 2007. *Peningkatan Ketahanan Bending Komposit Hibrid Sandwich Serat Kenaf Dan Serat Gelas Bermatrik Polyester Dengan Core Kayu Sengon Laut*. MEDIA MESIN, Vol.8 No.1, Januari 2007, 1 – 9, ISSN 1411-4348.
- [33] *Engineering Data Resource*. Software Finite Element (ANSYS 15.0).
- [34] COSMOS Aluminium. 2014. *STANDARD PROFILES CATALOGUE*. Cosmos Aluminium Industry: Yunani.
- [35] <URL: <http://articles.sae.org/14161/>>
- [36] <URL: <http://articles.sae.org/10391/>>
- [37] <URL: <http://articles.sae.org/11131/>>
- [38] <URL: <http://www.lantor.com/lantor-soric/>>
- [39] <URL: <http://En.wikipedia.org/wiki/Polycarbonate/>>
- [40] ASME Y14.32.1 M. 1995. *Chassis Frames-Passenger and light Truck-Ground Vehicle Practices*. New York: ASME & Departement of Defense(DoD) U.S Army.
- [41] Lackie, Frederick A. dan Bello, Dominie J.Dal. (2009). *Stregth and Stiffness of Engineering System*. United States of America: Springer.
- [42] <URL: <http://www.germancarforum.com/threads/the-list-torsional-rigidity.12334/>>



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Pati pada tanggal 07 November 1992 dengan nama **Mohammad Syifaul Khoiron**. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh yaitu MI Nabaul 'Ulum Wonorejo (1999-2005), SMPN 5 Pati (2005-2008), SMAN 2 Pati (2008-2011). Selepas SMA penulis melanjutkan studinya di Jurusan S1 Teknik Mesin FTI-ITS Surabaya.

Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Indomarine Malang bagian manufaktur boiler selama 1 bulan dan PT. PAL Indonesia(Persero) Surabaya bagian manufaktur RIG(*platform*) lepas pantai selama 1 bulan.

Penulis aktif di berbagai kegiatan dalam kampus. Pada saat kuliah ia pernah mendapatkan juara III dalam lomba rancang bangun mesin yang diadakan BKSTM(Badan Kerjasama Teknik Mesin) se-Indonesia pada tahun 2013. Dan juga aktif sebagai pengurus di LDJ(Lembaga Dakwah Jurusan) Ash-Shaff Teknik Mesin ITS 2012/2013. Selain itu banyak pelatihan dan kegiatan yang diikutinya, baik kegiatan akademis maupun non-akademis selama menjadi mahasiswa aktif di lingkungan ITS.

Email : syifaul.khoiron@engineer.com